

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

**INVESTIGACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAESTRÍA**

**DISEÑO DE UNA RED CONVERGENTE DE FIBRA ÓPTICA PARA
INTERCONECTAR LOS CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
AMÉRICAS**

LUIS SANTIAGO CRIOLLO CAIZAGUANO

QUITO – ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

“El temor de Jehová es el principio de la sabiduría, y el conocimiento del Santísimo es la inteligencia”. Proverbios 9:10

Agradezco primeramente a Dios por ser mi ayuda en todo momento a lo largo del desarrollo de este proyecto, de mi carrera y de mi vida en general.

A mis padres, Luis y Rocío, por ser siempre mi apoyo incondicional, por ser mis padres y mis amigos, por sus consejos y a quienes admiro por ser un ejemplo de responsabilidad, trabajo y perseverancia, gracias a ustedes este proyecto y mi carrera están concluidos, muchas gracias. Les amo.

Un especial agradecimiento a la Ing. María Soledad Jiménez, MSc, por su paciencia, consejos y la acertada dirección en el presente proyecto, y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para la culminación del mismo.

A mis todos mis amigos y amigas, con los que he compartido gratos momentos, tanto en universidad como fuera de ella.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios por ser mi fortaleza a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Luis y Rocío y a mis hermanos Diego, Daniel y Elisa, por estar siempre junto a mí, por su apoyo incondicional, por ser la fuerza que me ha impulsado a seguir adelante, por ser ejemplo a lo largo de toda mi vida, por su ayuda desinteresada y por brindarme su amistad y confianza.

A Jack, Backster, Martina y Rodolfo, que con sus travesuras alegran la casa.

Santiago Criollo

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
PRESENTACIÓN	xi
CAPÍTULO 1	1
1.1 LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN [a] [b]	1
1.1.1 Ventajas de la fibra óptica versus medios de cobre [B]	1
1.1.2 Desventajas del uso de fibra óptica [B]	2
1.2 TIPOS DE FIBRA óptica [a]	2
1.2.1 Fibra óptica monomodo [C]	3
1.2.2 Fibra óptica multimodo [C] [D]	3
1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA [b] [D]	5
1.3.1 Bandas ópticas [D]	5
1.3.2 Propagación de la luz, principio de reflexión interna total [w]	6
1.3.2.1 Ángulo crítico [w]	8
1.3.2.2 Ángulo de aceptación [w]	8
1.3.2.3 Apertura numérica [w]	9
1.4 ATENUACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA [w] [f]	9
1.4.1 Pérdidas por absorción [w]	10
1.4.2 Pérdidas por dispersión [g] [w]	10
1.4.3 Pérdidas por curvaturas [f] [w]	11
1.4.4 Ventanas de transmisión [w]	12
1.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [g] [h] [w]	14
1.5.1 Dispersión modal (τ_m)	14
1.5.2 Dispersión cromática	15
1.5.2.1 Dispersión cromática de material (τ_e)	15
1.5.3 Dispersión cromática de guía de onda (τ_g)	15
1.5.4 Dispersión de modo de polarización (τ_p)	16
1.5.5 Dispersión total (τ)	16
1.5.6 Ancho de banda de transmisión [w]	16

1.6	OPTIMIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO [d] [w]	17
	[x]	
1.7	Cables de fibra óptica para uso externo (<i>Outdoor</i>) [j]	18
1.7.1	Cables aéreos	18
1.7.1.1	Cable OPWG [i]	19
1.7.1		20
1.7.1.2	Cable ADSS [k]	20
1.7.1.3	Cable figura 8 [k]	21
1.7.2	Estructura de cables de fibra óptica [e]	18
1.7.3	Herrajes para sujeción de cables de fibra óptica aérea [l]	22
1.7.4	Estándares para fibra óptica monomodo [c] [t]	23
1.7.4.1	Estándar G.652	23
1.8	ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA [l]	25
1.8.1	Transmisor óptico [l] [m] [y]	25
1.8.1.1	Fuentes ópticas [m] [y]	26
1.8.1.1.1	Diodo emisor de luz.	26
1.8.1.1.2	Fuentes láser.	28
1.9	Características de una red de datos	28
1.9.1	Seguridad de la información	29
1.9.2	Interoperabilidad	30
1.9.3	Escalabilidad	30
1.9.4	Calidad de servicio	30
1.10	CARACTERÍSTICAS DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA [hh] [v]	31
1.11	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA [z] [hh]	32
1.11.1	Aspectos a considerar en el diseño de sistemas inalámbricos [hh] [jj]	32
1.11.2	Pérdida por propagación [hh] [jj]	32
1.11.3	Potencia del receptor [hh] [jj]	33
1.11.3.1	Pérdidas en la línea de transmisión [hh] [jj]	33
1.11.3.2	Pérdidas en el dispositivo protector de línea (branching) [hh] [jj]	33
1.11.3.3	Pérdidas por acoplamiento de antenas [hh] [jj]	34
1.11.4	Cálculo de la potencia del receptor [hh] [jj]	34
1.11.5	Margen de desvanecimiento [hh] [jj]	34
1.11.6	Umbral de recepción [hh] [jj]	35
1.11.7	Viabilidad del enlace (<i>Link Budget</i>) [hh] [jj]	36
1.12	ubicación de equipos enlace inalámbrico [hh] [ii]	36
1.12.1	Refractividad de la superficie [r]	37
1.12.2	Permitividad y conductividad del suelo [r]	37
1.13	Zona de Fresnel [z]	38

CAPÍTULO 2	38
2.1 INTRODUCCIÓN	38
2.2 Descripción de la red actual de la universidad	38
2.2.1 Análisis de la red actual de la universidad	45
2.2.1.1 Equipos de conectividad de la red UDLA	46
2.2.1.2 Mecanismo de control de voz	48
2.2.1.3 Sistemas Operativos que maneja la red UDLA	49
2.2.2 Descripción de tráfico actual de la red UDLA	50
2.2.2.1 Capa Aplicación	50
2.2.2.2 Capa transporte	52
2.2.2.3 Capa de red	53
2.2.2.4 Capa de acceso a la red - Capa física	54
2.2.3 Análisis de la capacidad actual de la red UDLA	59
2.2.3.1 Enlace LAN	59
2.2.3.2 Acceso a Internet	60
2.2.4 Datos estadísticos y proyección a cinco años de usuarios de la red UDLA	61
2.2.5 Dimensionamiento de aplicaciones de la red UDLA	63
2.2.5.1 Aplicaciones personal administrativo y estudiantes	63
2.2.5.2 Aplicaciones futuras red UDLA	65
CAPÍTULO 3	69
3.1 INTRODUCCIÓN	69
3.2 Topología de red	69
3.3 Medio de transmisión	70
3.4 Disposición geográfica de los enlaces para la UDLA	71
3.5 Cálculo y dimensionamiento de los enlaces	73
3.6 Criterios para el diseño de enlaces de fibra óptica [gg]	76
3.6.1 Parámetros básicos de enlaces	76
3.6.2 Ubicación geográfica de las sedes	77
3.6.3 Distancias entre enlaces de sedes UDLA	77
3.6.4 Selección de tipo de fibra óptica y cable óptico	78
3.6.4.1 Comparación entre cables ópticos considerados	79
3.6.5 Elección del tipo de fibra óptica monomodo	81
3.6.6 Cálculos para enlaces de fibra óptica [M] [HH]	82
3.6.6.1 Enlace Granados – Ecopark	86
3.6.6.2 Enlace Granados – Query	89
3.6.6.3 Enlace Granados – Colón	91
3.6.7 Equipos para enlace de fibra óptica	92

3.7	Diseño de enlace inalámbrico de backup Granados-Colón	95
3.7.1	Cálculo de enlace de <i>backup</i> granados-colón	96
3.7.2	Análisis de ubicación de enlace inalámbrico [R]	97
3.7.2.1	Características y parámetros del radio enlace Granados-Colón	101
3.7.3	Equipos para el enlace inalámbrico	102
CAPÍTULO 4		105
4.1	Presupuesto	105
4.1.1	Presupuesto referencial para enlace de fibra óptica	105
4.1.1.1	Costos enlace Granados – Colón	106
4.1.1.2	Costos enlace Granados – Query	107
4.1.1.3	Costos enlace Granados – Ecopark	108
4.1.2	Costos enlace inalámbrico	109
4.1.3	Presupuesto total	110
4.1.4	Análisis de inversión para implementación	111
CAPÍTULO 5		113
5.1	CONCLUSIONES	113
5.2	RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		104
ANEXOS		117

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1.1 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA ^[1]	3
FIG. 1.2 FIBRA ÓPTICA MONOMODO ^[2]	3
FIG. 1.3 FIBRA ÓPTICA MULTIMODO ^[1]	5
FIG. 1.4 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA ^[2]	7
FIG. 1.5 REFLEXIÓN TOTAL INTERNA ^[3]	7
FIG. 1.6 ÁNGULO DE ACEPTACIÓN PARA ENTRADA DE LUZ EN LA FIBRA ÓPTICA ^[4]	9
FIG. 1.7 ILUSTRACIÓN PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA CAUSADA POR ABSORCIÓN Y DISPERSIÓN ^[2]	11
FIG. 1.8 PÉRDIDAS POR CURVATURA EN LA FIBRA ÓPTICA ^[5]	12
FIG. 1.9 VENTANAS DE TRANSMISIÓN PARA TRABAJO CON FIBRA ÓPTICA ^[6]	13
FIG.1.10 CURVA DE ATENUACIÓN DE FIBRAS ZERO WATER PEAK (ZWP) ^[7]	14
FIG. 1.11 CABLE ÓPTICO FIGURA 8 PARA USO EXTERIOR ^[8]	19
FIG.1.12 CABLE OPWG ^[9]	20
FIG. 1.13 CABLE ADSS ^[10]	20
FIG. 1.14 CABLE FIGURA 8 ^[11]	21
FIG. 1.15 HERRAJE DE RETENCIÓN PARA CABLES ADSS ^[12]	22
FIG. 1.16 HERRAJE DE SUSPENSIÓN PARA CABLES ADSS ^[13]	22
FIG. 1.17 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA	25
FIG. 1.18 ANCHO ESPECTRAL DE UN LED Y UN LÁSER ^[14]	27
FIG. 1.19 ZONA DE FRESNEL ^[18]	38
FIG. 2.1 ESQUEMA GENERAL DE LA RED ACTUAL DE LA UDLA	40
FIG. 2.2 DIAGRAMA GENERAL DE INTERCONEXIÓN DEL PROYECTO DE DISEÑO DE RED Y ENLACE DE BACKUP PARA LA UDLA	41
FIG. 2.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS SEDES DE LA UDLA UTILIZANDO EL SOFTWARE GOOGLE EARTH	42
FIG. 2.4 ESQUEMA DE LA RED DE ACCESO A LAS SEDES QUERY Y COLÓN	44
FIG. 2.5 DIAGRAMA GENERAL DE ACCESO A INTERNET Y SEGURIDAD DE LA RED UDLA	45
FIG. 2.6 CENTRAL IP-CISCO MANEJO DE VOZ DE MANERA CONVERGENTE EN LA RED UDLA	48
FIG. 2.7 PORCENTAJE DE USOS DE PROTOCOLOS DE CAPA APLICACIÓN.	52
FIG. 2.8 PORCENTAJE DE USO DE LOS PROTOCOLOS DE CAPA TRANSPORTE	53
FIG. 2.9 PORCENTAJE DE USOS DE LOS PROTOCOLOS DE CAPA INTERNET.	54
FIG. 2.10 PORCENTAJE DE USO DE APLICACIONES EN LA CAPA ACCESO AL MEDIO.	54
FIG. 2.11 TRÁFICO LAN ENTRE LA SEDE GRANADOS Y LA SEDE QUERY	55
FIG. 2.12 TRÁFICO LAN ENTRE SEDE GRANADOS Y SEDE COLÓN	56
FIG. 2.13 TRÁFICO INTERNET RED DE ESTUDIANTES	57
FIG. 2.14 TRÁFICO INTERNET RED ADMINISTRATIVOS	58
FIG. 2.15 CAPACIDAD MÍNIMA Y MÁXIMA REQUERIDA POR LA RECOMENDACIÓN H.323*	67
FIG. 3.1 TOPOLOGÍA FÍSICA Y LÓGICA DE LAS SEDES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS	69
FIG. 3.2 ENLACE PRINCIPAL Y BACKUP SEDE GRANADOS – SEDE COLÓN	71

FIG. 3.3 ENLACE PRINCIPAL Y BACKUP SEDE GRANADOS – SEDE QUERY	72
FIG. 3.4 ENLACE PRINCIPAL Y BACKUP SEDE GRANADOS – SEDE ECOPARK	72
FIG. 3.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS SEDES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	77
FIG. 3.6 ENLACE DE CONEXIÓN ENTRE DOS SEDES EJEMPLO	83
FIG. 3.7 ESQUEMA GENERAL DE ENLACES ENTRE LAS SEDES DE LA UDLA	94
FIG. 3.8 ENLACE UBICADO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO UTILIZANDO GOOGLE MAPS	98
FIG. 3.9 ZONA DE FRESNEL DESPEJADA EN ENLACE GRANADOS - COLÓN	99
FIG. 3.10 CARACTERÍSTICAS DE ALTURA, PÉRDIDA Y GANANCIA EN EL ENLACE	100
FIG. 3.11 ENLACE PRINCIPAL Y DE RESPALDO GRANADOS - COLÓN	104

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO G.652.D RECOMENDACIÓN UIT-T	25
TABLA 1.2 DISTINTAS PÉRDIDAS CONSIDERADAS PARA EL DISEÑO ^[HH] ^[JJ]	33
TABLA 1.3 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE RADIO MOBILE ^[I]	37
TABLA 1.4 CARACTERÍSTICAS DE PERMITIVIDAD Y CONDUCTIVIDAD UTILIZADAS EN ENLACES INALÁMBRICOS EN EL SOFTWARE RADIO MOBILE ^[R]	38
TABLA 2.1 ROUTER PARA ADMINISTRACIÓN DE ISP	46
TABLA 2.2 SWITCH DE DISTRIBUCIÓN EN LOS CAMPUS DE LA UDLA	46
TABLA 2.3 SWITCH CORE PARA ADMINISTRACIÓN DE CADA CAMPUS DE LA UDLA	47
TABLA 2.4 SWITCH DE ACCESO EN LOS CAMPUS DE LA UDLA	48
TABLA 2.5 SISTEMAS OPERATIVOS FUNCIONALES DE LA UDLA	49
TABLA 2.6 CAPACIDAD ACTUAL ENLACE SEDE GRANADOS – SEDE QUERY PERSONAL ADMINISTRATIVO Y ESTUDIANTES	60
TABLA 2.7 CAPACIDAD ACTUAL ENLACE SEDE GRANADOS – SEDE COLÓN PERSONAL ADMINISTRATIVO Y ESTUDIANTES	61
TABLA 2.8 NÚMERO DE ALUMNOS INSCRITOS EN LA UDLA DESDE EL 2009 Y PROYECCIÓN AL 2020	62
TABLA 2.9 NÚMERO DE DOCENTES A TIEMPO COMPLETO UDLA DESDE EL 2009 Y PROYECCIÓN AL 2020	62
TABLA 2.10 NÚMERO DE PERSONAL ADMINISTRATIVO UDLA DESDE EL 2009 Y PROYECCIÓN AL 2020	62
TABLA 2.11 RECOMENDACIONES PARA EL SERVICIO DE VoIP EN REDES DE DATOS ^[19]	64
TABLA 2.12 ACCESO A INTERNET PERSONAL ADMINISTRATIVO	65
TABLA 2.13 ACCESO A INTERNET ESTUDIANTES	65
TABLA 2.14 ACCESO LAN PERSONAL ADMINISTRATIVO/DOCENTE Y	65
TABLA 2.15 ACCESO LAN PERSONAL ADMINISTRATIVO/DOCENTE Y	65
TABLA 2.16 RECOMENDACIONES UIT PARA VIDEOCONFERENCIA ^[LL]	67
TABLA 3.1 PERSONAL ADMINISTRATIVO Y ALUMNOS EN CADA SEDE DE LA UDLA EN LA ACTUALIDAD	73
TABLA 3.2 PERSONAL ADMINISTRATIVO, DOCENTES Y ESTUDIANTES UDLA PARA PROYECCIÓN AÑO 2020	74
TABLA 3.3 DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS – QUERY PARA AÑO 2020	74
TABLA 3.4 DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS COLÓN PARA AÑO 2020	75
TABLA 3.5 PROYECCIÓN DATOS LAN SEDE ECOPARK	75
TABLA 3.6 PROYECCIÓN ACCESO A INTERNET SEDE ECOPARK	75
TABLA 3.7 DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS – ECOPARK PARA AÑO 2020	76
TABLA 3.8 CAPACIDADES REQUERIDAS PARA LOS ENLACES DE CADA SEDE	76
TABLA 3.9 DISTANCIA DE ENLACE PRINCIPAL Y BACKUP ENTRE SEDES	78
TABLA 3.10 TABLA COMPARATIVA DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA PARA TENDIDO AÉREO	80
TABLA 3.11 COMPARACIÓN DE FIBRA ÓPTICA RECOMENDACIÓN UIT-T G.652	81
TABLA 3.12 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INTERFAZ ÓPTICO P1S1-1D1 DE LA RECOMENDACIÓN UIT G.959.1	83
TABLA 3.13 ANCHO DE BANDA MÍNIMO DISPONIBLE DE CADA ENLACE DE FIBRA ÓPTICA	92
TABLA 3.14 ELEMENTOS REQUERIDOS PARA TODOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA DISEÑADOS	93
TABLA 3.15 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS SEDES GRANADOS Y COLÓN	98

TABLA 3.16 CARACTERÍSTICAS DEL ENLACE GRANADOS – COLÓN	102
TABLA 3.17 CARACTERÍSTICAS DE RADIO Y ANTENA PARA EL ENLACE INALÁMBRICO	102
TABLA 4.1 EQUIPOS NECESARIOS PARA LOS ENLACES DE FIBRA ÓPTICA	106
TABLA 4.2 PRESUPUESTO ENLACE DE FIBRA ÓPTICA GRANADOS – COLÓN	107
TABLA 4.3 PRESUPUESTO ENLACE DE FIBRA ÓPTICA GRANADOS – QUERY	108
TABLA 4.4 PRESUPUESTO ENLACE DE FIBRA ÓPTICA GRANADOS – ECOPAK	109
TABLA 4.5 EQUIPOS NECESARIOS PARA ENLACE INALÁMBRICO DE <i>BACKUP</i>	109
TABLA 4.6 PRESUPUESTO ENLACE INALÁMBRICO DE BACKUP GRANADOS-COLÓN	110
TABLA 4.7 INVERSIÓN TOTAL PARA PUESTA EN MARCHA DEL DISEÑO PROPUESTO	111
TABLA 4.8 COSTO DE ARRENDAMIENTO POR ENLACES DE LA UDLA	111
TABLA 4.9 COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE RED PROPUESTO (FIBRA ÓPTICA MONOMODO Y TRANSEIVERS ÓPTICOS LÁSER)	111
TABLA 4.10 COSTO TOTAL DEL PROYECTO DE RED PROPUESTO (FIBRA ÓPTICA MULTIMODO Y TRANSEIVERS ÓPTICOS LED)	112

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de una red convergente de fibra óptica para interconectar los campus de la Universidad de las Américas, tomando en cuenta 5 de ellos, los cuales son:

- Campus Granados
- Campus Colón
- Campus Query
- Campus Ecopark
- Campus Forence

Como primera parte se realiza un marco teórico acerca del medio de transmisión a ser utilizado, cada una de sus características, ventajas y desventajas, formas de transmisión y los principales usos y aplicaciones.

El siguiente punto aborda la infraestructura actual de comunicaciones que la Universidad de las Américas posee, se define el porcentaje de utilización de cada uno de los servicios y aplicaciones a las que los usuarios de la red universitaria tienen acceso, se lista los equipos de red existentes, y en base a esto, se determina los requerimientos mínimos para el diseño de este proyecto.

Se plantea el diseño del proyecto utilizando la fibra óptica como medio de transmisión, esto con el fin de brindar servicios de banda ancha en lo referente a voz, datos y video, se analiza los enlaces de respaldo del diseño propuesto para dar redundancia a la transmisión de la información.

Concluyendo el proyecto, se presenta los costos asociados al mismo, en lo referente a equipos, mano de obra, infraestructura y todos los recursos necesarios para la puesta en marcha del mismo.

ABSTRACT

This titling project presents an analysis for the design of a converging optical fiber network to interconnect the campus of the University of Universidad de las Américas, considering 5 of them, which are:

- Campus Granados
- Campus Colón
- Campus Query
- Campus Ecopark
- Campus Forence

At the beginning, a theoretical framework about the transmission medium to be used, each of its characteristics, advantages and disadvantages, modes of transmission and the main uses and applications are performed.

In the next section, the communications infrastructure of the University, the design of services and applications, equipment owned, and based on this, determines the necessary requirements for the proposed design is feasible. Part of this study includes an individual analysis of the campus involved in the connection, identifying their physical infrastructure, equipment available, and equipment necessary for network design is effective in its entirety. Design using a fiber optic backbone and an analysis evidencing what would be the best option for access at each campus depending on the previous study rises in each, all with the purpose of providing broadband services in concerning voice, data and video.

As a conclusion, the costs associated with it are presented, in terms of equipment, infrastructure and resources needed for the implementation of the project.

PRESENTACIÓN

Estos tiempos de acelerado crecimiento tecnológico exige que las compañías, empresas e instituciones tengan en cuenta el mejoramiento continuo de su infraestructura tecnológica, ya que solo de esta manera estarán preparados para un futuro muy competitivo con nuevas y mejores aplicaciones.

Los grandes avances que se han generado en el aspecto tecnológico inciden directamente en el desarrollo de nuevas aplicaciones; las cuales se ven afectadas en aspectos como la calidad de servicio, retardo de transmisión de información, pérdida de sincronización por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino, confiabilidad del enlace, variación del retardo de transmisión, más conocido como ¹*jitter*.

La gran demanda en las redes actuales evidencia las limitaciones que tiene el cable guiado de cobre utilizado como tecnología de transporte de información, debido a ésto, las soluciones utilizando fibra óptica como medio de transmisión, son una elección potencial para el mejoramiento y optimización de las mismas. La fibra óptica posee las mejores características para el transporte de la información, una de las más importantes es su gran ancho de banda, el cual permite transmitir información convergente en el orden de los Gbps y Tbps, su baja atenuación de señal óptica permite realizar tendidos de fibra sin necesidad de repetidores, en condiciones normales una transmisión de datos por fibra óptica tiene una tasa de errores o BER (*Bit Error Rate*) menor que 10^{-11} , esta característica permite que los protocolos de comunicaciones de alto nivel no necesiten procedimientos de corrección de errores, por lo que se aumenta la velocidad de transferencia de información.

¹*Jitter*: que se define como la variación en el tiempo en la llegada de los paquetes, causada por congestión de red.

La fibra óptica es resistente a la corrosión y a las altas temperaturas, la protección de la envoltura es capaz de soportar esfuerzos elevados de tensión en la instalación, finalmente debido a que la fibra óptica no produce radiación electromagnética, es resistente a las acciones intrusivas de escucha, para acceder a la señal que circula en la fibra es necesario cortarla, con lo cual no hay transmisión durante este proceso, y es fácilmente detectable, por lo tanto es un medio seguro de transmisión.

CAPÍTULO 1

LA FIBRA ÓPTICA

1.1 LA FIBRA ÓPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN [A] [B]

La fibra óptica es un medio de transmisión de información (voz, datos y vídeo), su construcción está basada principalmente en dos materiales, el vidrio y el plástico, es muy utilizado en las comunicaciones ya que es uno de los mejores medios de transmisión, se dice esto porque, entre sus principales características se resalta su capacidad de transmisión, baja atenuación e inmunidad frente al ruido, por estas características es utilizado en enlaces que necesiten alta velocidad y gran ancho de banda.

La continua demanda de usuarios grandes, medianos y pequeños que necesitan gran capacidad en el transporte de información por nuevas y mejores aplicaciones en el mercado, hacen que la fibra óptica sea la alternativa adecuada para satisfacer estas necesidades, constituyéndose en el medio más utilizado en los últimos años para soluciones de transporte y acceso de información.

1.1.1 Ventajas de la fibra óptica versus medios de cobre [B]

Si se habla de comunicaciones, la fibra óptica tiene muchas ventajas en comparación con los medios guiados clásico como el ADSL, UTP, Coaxial, etc. Se puede numerar las siguientes:

- En transmisiones de fibra óptica la *EMI* (interferencia electromagnética) es nula, por ello el tendido de los sistemas de fibra se lo puede realizar en sitios donde existan torres de media y alta tensión o postes de alumbrado público.
- La atenuación es muy baja en sistemas ópticos, debido a esto, la información viaja a grandes distancias sin necesidad del uso de repetidores.

- La capacidad de transmisión es muy elevada, permitiendo alcanzar un ancho de banda en el orden de los THz.
- Los equipos existentes para manipular fibra óptica hacen posible una detección sencilla de posibles errores, generando un mantenimiento óptimo de los enlaces de comunicación.
- Si se quiere escuchar de manera no autorizada el canal de transmisión, la fibra debe ser cortada, por lo que dejaría de transmitir por el principio de TIR (reflexión interna total) y esto es detectable, por lo tanto es un medio seguro para transmitir.

1.1.2 Desventajas del uso de fibra óptica [B]

- El equipamiento y mantenimiento de la fibra óptica es relativamente costoso.
- Para reparar algún daño, éste debe ser asumido por personal especializado, ya que es peligroso manipular la fibra si tenemos como fuente de luz un láser.
- A veces es necesario conectarse con equipos remotos que requieren un suministro eléctrico, el cual no puede ser enviado a través de la fibra óptica, por lo que se necesitan cables extra para la alimentación de dichos aparatos.

1.2 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA [A]

Existen 2 tipos de fibra óptica en el mercado, dependiendo del número de modos que propague ésta puede ser monomodo o multimodo, cada una de ellas posee características únicas, las cuales son aprovechadas para el transporte de información dependiendo de la capacidad que se necesite, ancho de banda y costos asociados.

Las fibra ópticas más utilizadas por sus características son las del tipo monomodo, ya que al transmitir un solo modo, la distancia a recorrer es considerable. La fig. 1.1 muestra los dos tipos de fibra.

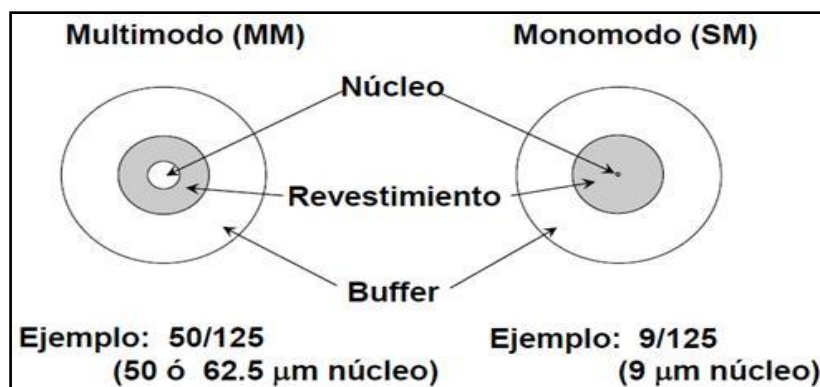


Fig. 1.1 Tipos de fibra óptica ^[1]

1.2.1 Fibra óptica monomodo [C]

Es un tipo de fibra en la cual el diámetro de su núcleo es muy pequeño, esto permite que se transporte un solo modo de propagación, lo que da como resultado un aumento considerable en la capacidad de la fibra. Este tipo de fibras son utilizadas en enlaces que requieren gran capacidad de transmisión y están situados a largas distancias. El equipamiento para esta solución es muy costoso, ya que al tener el núcleo tan pequeño necesitan utilizar elementos precisos como lo es un emisor láser para su fuente de luz.

La fig. 1.2 muestra la propagación de un solo modo en la fibra óptica monomodo.

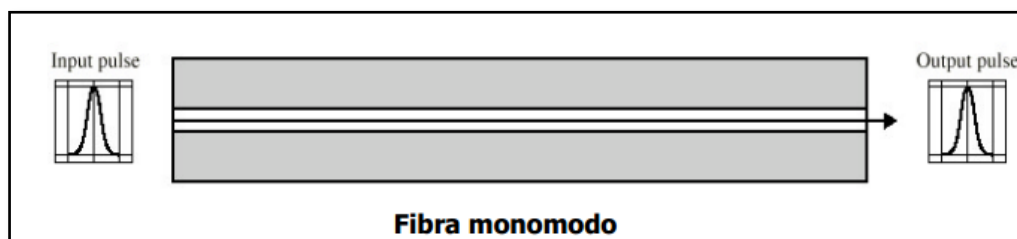


Fig. 1.2 Fibra óptica monomodo ^[2]

1.2.2 Fibra óptica multimodo [C] [D]

El diámetro del núcleo de esta fibra es mucho más grande que el de la fibra monomodo, por lo tanto permite enviar múltiples modos con diferentes ángulos

de incidencia, es decir, cada haz de luz tiene diferente modo de propagación. Esta característica genera una limitación en la transmisión de la información por lo que son utilizadas en enlaces de baja velocidad y corto alcance. Por el diámetro de su núcleo, estas fibras soportan fuentes de luz no tan precisas, por lo tanto son más baratas y simples de utilizar. Éstas a su vez se clasifican dependiendo de su índice de refracción en:

- **Fibra óptica multimodo de índice escalonado** [C]: En este tipo de fibra el índice de refracción tanto del manto como del núcleo permanecen constantes, debido a esto los modos de propagación viajan a la misma velocidad dentro del núcleo, pero con trayectorias distintas, cada haz de luz llegará al destino en diferente tiempo y produce que el pulso se ensanche en el tiempo, como consecuencia de ello existe una dispersión modal. Esta dispersión es acumulativa con la distancia, lo que da como resultado la pérdida de ancho de banda y baja velocidad de transmisión.
- **Fibra óptica multimodo de índice gradual** [C]: En este tipo de fibra, el índice del manto permanece constante, pero el núcleo tiene un índice refractivo que disminuye de manera gradual con el incremento de la distancia desde el centro de la fibra, de hecho su valor más grande está situado justo en el centro y va disminuyendo hacia los extremos del manto.

Los rayos de luz viajan por el núcleo a diferentes velocidades, y mientras más alejado del eje central de la fibra se encuentren su velocidad aumenta, de esta forma los rayos de luz llegarán casi al mismo tiempo al destino, esto da como resultado una reducción en la dispersión modal que se traduce en el aumento del ancho de banda y la velocidad de transmisión.

Todas estas características se pueden observar a continuación en la fig. 1.3

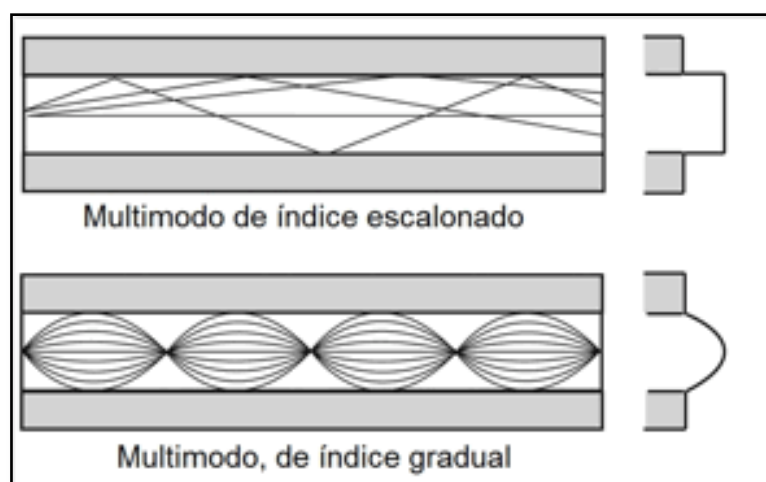


Fig. 1.3 Fibra óptica multimodo ^[1]

1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA [B] [D]

Como se mencionó anteriormente, la fibra óptica consiste en un filamento muy delgado hecho a base de vidrio, plástico, sílice o cuarzo fundido, estos materiales se diferencian uno de otro por su índice de refracción (n) que es un valor característico en todos los materiales existentes, la fibra posee un filamento que tiene una forma cilíndrica, el envío de información se lo realiza mediante un haz de luz que viaja a través de éste.

Está fabricada de dos capas, una interna denominada *core* o núcleo, y otra externa denominada *cladding* o manto, cada una de ellas debe tener un índice de refracción (n) diferente, para que la luz que atraviesa por ella se propague cumpliendo el principio de reflexión interna total, el cual se explica más adelante.

1.3.1 Bandas ópticas [D]

La banda óptica comúnmente utilizada para enlaces utilizando fibra óptica es la infrarroja, otros tipos de fibras como las de plástico utilizan la banda visible y la banda ultravioleta, pero en las dos bandas se tiene mucha atenuación y es por esta razón que solo se puede transmitir a cortas distancias, por lo cual no son muy utilizadas.

La banda Infrarroja tiene una longitud de onda muy grande para ser vista por el ojo humano, por este motivo se recomienda que cuando se trabaja con luz a estas frecuencias, hay que tener precaución de no verla directamente ya que ciertas frecuencias pueden dañar el ojo.

1.3.2 Propagación de la luz, principio de reflexión interna total [w]

La propagación de luz está basado en las leyes de la óptica geométrica, cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, el rayo se refracta o dobla entre las fronteras de los medios, el grado de refracción depende de las propiedades de los dos medios y de sus índices de refracción, para ángulos de incidencia por encima de cierto valor crítico, la luz no se refracta sino que se refleja, si esto ocurre ningún haz de luz sale del medio que lo refleja y éste puede llegar a transportarse a kilómetros de distancia utilizando este principio. Ver fig. 1.4

Una característica importante dentro de la transmisión en la fibra óptica es el denominado principio de reflexión interna total, éste se da cuando en el núcleo de la fibra viaja un rayo de luz proveniente de un medio con un índice de refracción η_1 y se encuentra con un índice de menor densidad η_2 .

Si $\eta_1 > \eta_2$ y mientras se aumenta el ángulo de incidencia θ_1 también aumenta el ángulo de refracción θ_2 , en este incremento se llegará a un valor particular denominado ángulo crítico θ_c , si $\theta_1 = \theta_c$ el haz de luz estará contenido o seguirá el camino de la frontera del plano de separación de los dos medios, pero cuando $\theta_1 > \theta_c$ cualquier haz que cumpla esta condición se reflejara en su totalidad en el interior de la fibra óptica. Ver fig. 1.4

Por tanto se puede afirmar que cuando:

- $\theta_1 < \theta_c$ El haz de luz se refracta al manto
- $\theta_1 > \theta_c$ EL haz de luz se refleja totalmente (regresa al núcleo)
- $\theta_1 = \theta_c$ El haz de luz está contenido en la frontera manto-núcleo

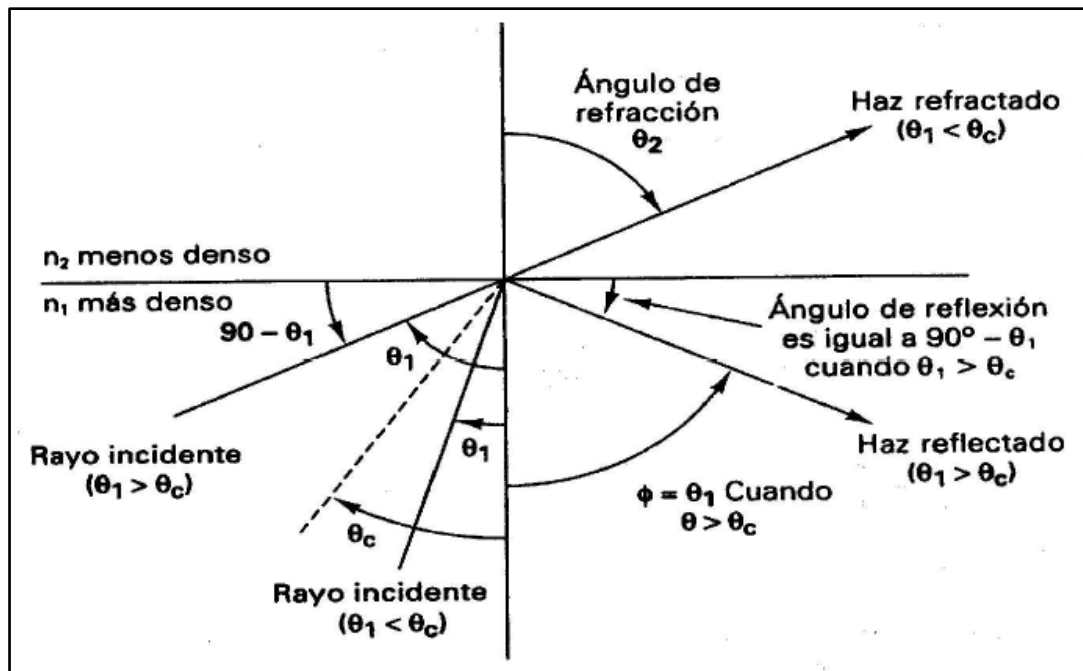


Fig. 1.4 Reflexión y refracción en una fibra óptica ^[2]

Por tanto para que la reflexión interna total se cumpla dentro de una fibra se deben cumplir dos condiciones específicas las cuales son:

- El índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el índice de refracción del manto $n_1 > n_2$
- El ángulo de incidencia del haz de luz debe ser siempre mayor al ángulo límite o crítico $\theta_1 > \theta_c$ ver fig. 1.5

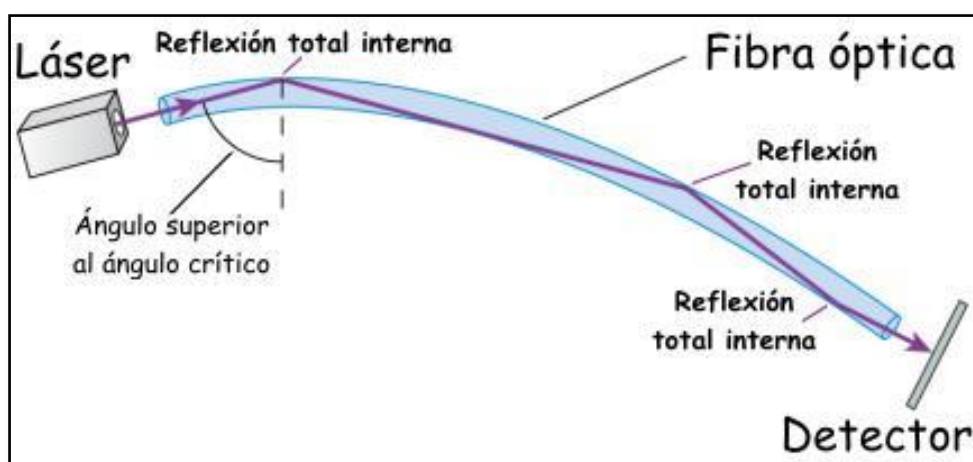


Fig. 1.5 Reflexión total interna ^[3]

1.3.2.1 Ángulo crítico [w]

De acuerdo a la ley de Snell o ley de refracción la cual dice, que los índices de refracción de los medios están en razón inversa de los senos de los ángulos que forma la normal a la superficie de separación con los respectivos rayos de luz, si Θ_1 es en ángulo de incidencia y Θ_2 es el ángulo de refracción, entonces se cumple que:

$$\eta_1 \text{ Sen } (\Theta_1) = \eta_2 \text{ Sen } (\Theta_2)$$

El ángulo crítico para el cual se produce reflexión interna total dentro del núcleo de la fibra óptica se consigue cuando el ángulo de refracción Θ_2 es 90° por tanto:

$$\eta_1 \text{ Sen } (\Theta_c) = \eta_2 \text{ Sen } (90^\circ)$$

$$\Theta_c = \text{Sen}^{-1} (\eta_2 / \eta_1) \quad \text{ec. 1.1}$$

1.3.2.2 Ángulo de aceptación [w]

El ángulo de aceptación (Θ_0) es el ángulo que forma la luz generada por una fuente externa a la fibra (aire) con el eje de la fibra.

De acuerdo a la ley de Snell se tiene que:

$$\eta_0 \text{ Sen } (\Theta_0) = \eta_1 \text{ Sen } (\Theta_R) \quad \text{ec. 1.2}$$

Dónde:

Θ_R = ángulo que forma el rayo luminoso refractado con el eje de la fibra

η_0 = Índice de refracción del aire

η_1 = Índice de refracción del núcleo

Para que la luz ingrese al núcleo de la fibra, éste debe refractarse, por lo tanto debe cumplirse que $n_0 < n_1$ ya que el aire es menos denso que el núcleo de la fibra, por lo tanto la luz que incide en esa frontera se refracta dentro de la fibra óptica, como muestra la fig. 1.6

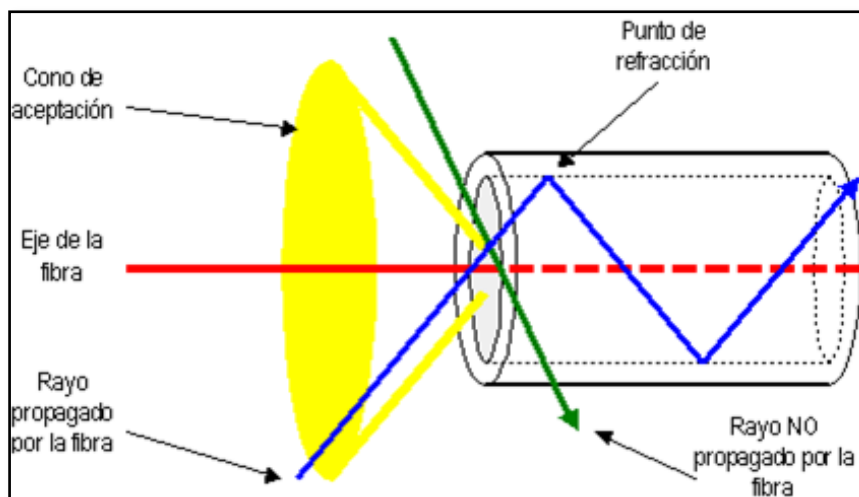


Fig. 1.6 Ángulo de aceptación para entrada de luz en la fibra óptica ^[4]

1.3.2.3 Apertura numérica [w]

La apertura numérica es un parámetro que determina la cantidad de luz que una fibra puede aceptar y eso se refleja en la cantidad de energía que puede transportar. Valores típicos de apertura numérica son: 0.1 – 0.5.

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{ec. 1.3}$$

1.4 ATENUACIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA [w] [F]

Esta característica se refiere a la pérdida de potencia en la señal óptica, se mide en decibelios por kilómetro de fibra (dB/Km). Las principales causas de la atenuación en la fibra óptica son las siguientes:

1.4.1 Pérdidas por absorción [w]

Son pérdidas que se producen debido a impurezas de los materiales con los que se fabrica la fibra óptica y que no se puede eliminar, estas impurezas absorben el haz de luz transportado y lo convierten en calor.

La absorción infrarroja se incrementa de manera exponencial con la longitud de onda y es despreciable por debajo de los 1400nm, la absorción ultravioleta se produce en longitudes de onda menores a 1000nm, a partir de esta longitud de onda esta absorción se considera despreciable. Ver fig. 1.7

Otra causa de pérdidas por absorción es la presencia de iones hidroxilo OH^- , que son impurezas generadas por partículas de vapor de agua que se producen en el vidrio cuando se fabrica la fibra, este tipo de pérdida se la puede observar con mayor intensidad en longitudes de onda cercanas a 1400nm. Existen métodos de fabricación de fibra óptica que eliminan los iones hidroxilo y permiten trabajar en estas longitudes de onda, se les conoce como fibras ópticas ZWP (*Zero Water Peak*).

1.4.2 Pérdidas por dispersión [g] [w]

Existen 2 tipos de pérdidas por dispersión, la de Rayleigh y la de Mie, éstas son fenómenos provocados por daños sub-microscópicos y ciertas obstrucciones que producen un cambio ligero en el índice de refracción del material, este cambio altera el principio de reflexión interna total dentro del núcleo de la fibra óptica, lo que se traduce como pérdida.

A continuación se detallan las pérdidas producidas por dispersión.

- **Pérdidas por dispersión de Rayleigh:** Éstas ocurren cuando el diámetro de obstrucciones es mucho menor que la longitud de onda de la señal, éstas influyen mucho cuando se trabaja con λ entre 400 y 1100nm, mientras mayor sea λ menor será la pérdida.

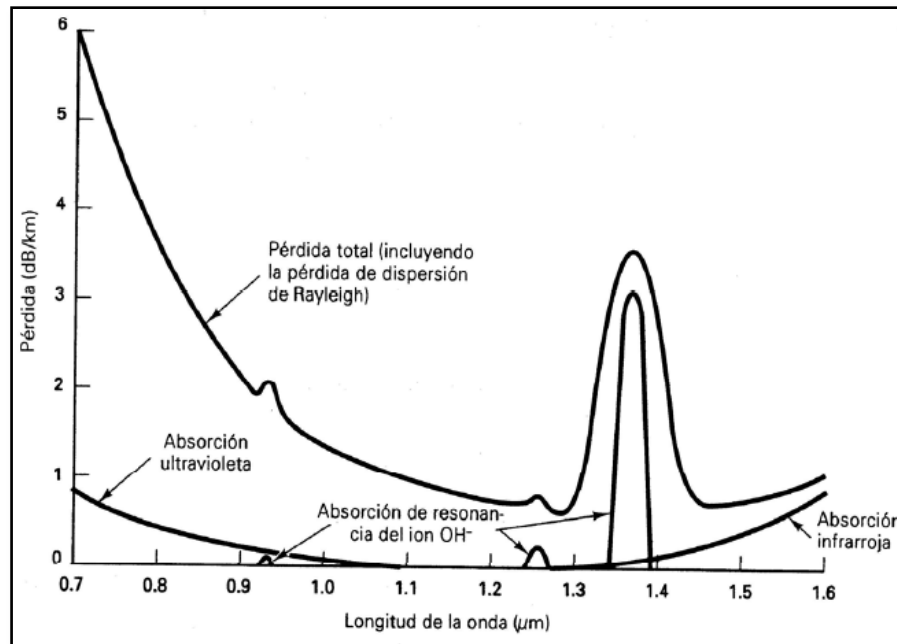


Fig. 1.7 Ilustración pérdidas en la fibra óptica causada por absorción y dispersión ^[2]

- **Pérdidas por dispersión de Mie:** Éstas se dan cuando dichas imperfecciones son de un tamaño comparable o mayor que λ , en la actualidad por la tecnología de fabricación casi se ha eliminado este tipo de pérdidas.

1.4.3 Pérdidas por curvaturas [f] [w]

La fibra óptica sufre una atenuación cuando ésta es sometida a una curvatura inadecuada en el momento de la instalación, esto provoca en la fibra un cambio en los ángulos de incidencia en la frontera núcleo - manto, provocando así una violación en la reflexión interna total, por lo que la luz se refracta hacia el manto.

Esta atenuación aumenta considerablemente con el radio de la curvatura. Las fibras que son más propensas a este tipo de pérdidas son las multimodo. La fig. 1.8 ilustra la forma en la que el cambio del ángulo de incidencia provoca pérdidas en la luz transportada por la fibra óptica.

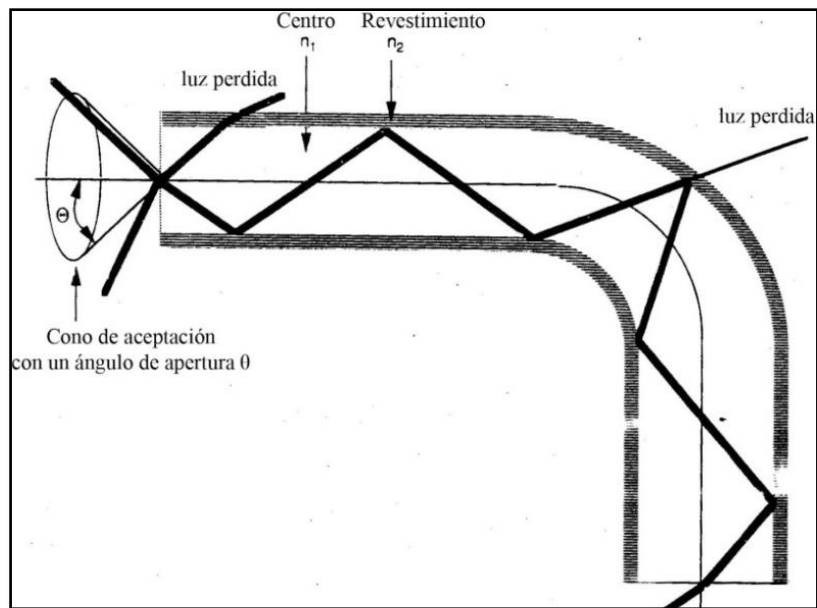


Fig. 1.8 Pérdidas por curvatura en la fibra óptica ^[5]

Si el ángulo de incidencia entre el núcleo y el manto cambia de manera drástica, el haz de luz que se está transmitiendo no se va a reflejar al núcleo, sino a refractar al manto, lo que produce que la información asociada a este haz de luz se pierda por el manto de la fibra óptica.

1.4.4 Ventanas de transmisión ^[w]

Al analizar todas las posibles pérdidas que una fibra óptica puede tener en el proceso de transmisión, se concluye que, no se puede utilizar la zona donde la longitud de onda λ sea menor a 800nm por su alta atenuación, tampoco se la puede utilizar en la zona por encima de la longitud de onda sea igual a 1650nm en la cual se presenta atenuación por absorción infrarroja, por lo que se consideran 5 lugares intermedios entre estas longitudes de onda, los cuales se denominan ventanas de baja atenuación con longitudes de onda adecuadas para realizar una transmisión utilizando la fibra óptica como medio de transmisión.

La fig. 1.9 muestra en detalle cada una de estas ventanas de transmisión, la atenuación en función de la longitud de onda y los picos de pérdidas por absorción de los iones hidroxilo.

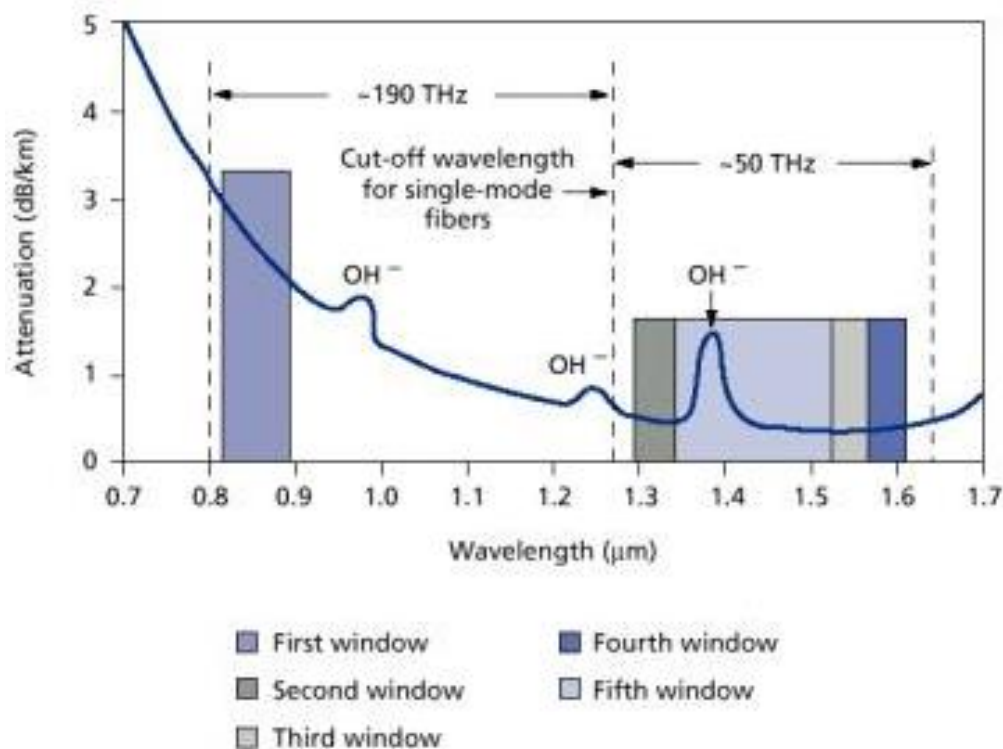


Fig. 1.9 Ventanas de transmisión para trabajo con fibra óptica ^[6]

- **Primera ventana:** $\lambda = 850\text{nm}$, va desde $820\text{nm} - 880\text{nm}$.
- **Segunda ventana:** $\lambda = 1310\text{nm}$, banda O, va desde $1269\text{nm} - 1360\text{nm}$.
- **Tercera ventana:** $\lambda = 1550\text{nm}$, banda C, va desde $1530\text{nm} - 1565\text{nm}$.
- **Cuarta ventana:** $\lambda = 1625\text{nm}$, banda L, va desde $1565\text{nm} - 1625\text{nm}$.
- **Quinta ventana:** $\lambda = 1470\text{nm}$, banda E y S, van desde $1360\text{nm} - 1530\text{nm}$.

La atenuación en la banda E se conoce como pico de atenuación o pérdida en las longitudes de onda cercanas a dicha banda, esta pérdida es considerable y se debe a iones hidroxilos, que se producen en el momento de la fabricación de la fibra. Actualmente con una nueva tecnología se pueden fabricar fibras ópticas denominada ZWP (*Zero Water Peak*) con las cuales se puede reducir la atenuación producida por estos iones.

Esta atenuación y la reducción de la misma se la puede observar en la fig. 1.10

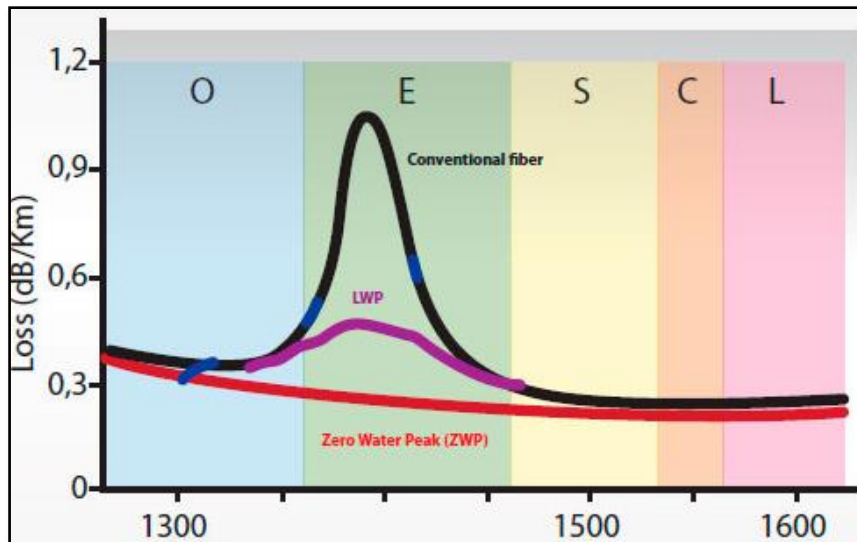


Fig.1.10 Curva de atenuación de fibras Zero Water Peak (ZWP) ^[7]

1.5 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [G] [H] [W]

La dispersión es un fenómeno que se produce cuando un haz de luz se deforma (ensancha) durante la transmisión por la fibra óptica. Este ensanchamiento produce una reducción en el ancho de banda, por lo tanto una baja velocidad de transmisión. La dispersión total en la fibra óptica es la suma de los diferentes tipos de dispersión existentes, éstos son:

- Dispersión modal
- Dispersión cromática
 - Dispersión cromática de material
 - Dispersión cromática de guía de onda
- Dispersión de modo de polarización

1.5.1 Dispersión modal (τ_m)

Este tipo de dispersión está relacionada a las fibras multimodo de índice escalonado, existe una forma de reducir esta dispersión y esta es utilizando las fibras ópticas índice gradual.

1.5.2 Dispersión cromática

Este tipo de dispersión sufre la señal al viajar por la fibra, existe por dos razones, las cuales son:

1.5.2.1 Dispersión cromática de material (τ_e)

Ésta es la principal causa de la dispersión cromática y depende del índice de refracción del material con el que están fabricadas las fibras, cada fuente de luz emite un rango de longitudes de onda denominado ancho espectral, la velocidad de propagación en la fibra óptica depende de la longitud de onda que la atraviesa ($V_p = c/n$), por lo tanto, cada longitud de onda (color) viaja a diferente velocidad produciendo diferentes retardos, lo que ocasiona un ensanchamiento del pulso y por ende la dispersión.

El coeficiente de dispersión de material para fibras que trabajan en la primera ventana es de 80 – 100 ps/Km.nm, y en la segunda ventana en las proximidades de 1300nm baja el coeficiente de dispersión de material a 4 o 5 ps/Km.nm.

1.5.3 Dispersión cromática de guía de onda (τ_g)

Solo se lo halla en fibras monomodo, hay que tener en cuenta que la potencia del modo que se está transmitiendo se propaga parcialmente por el núcleo y parcialmente por el manto, por este último viajando a mayor velocidad ya que su índice de refracción es mucho menor que el núcleo, por lo tanto aparece una nueva dispersión denominada de guía de onda. El coeficiente de dispersión de guía de onda en fibras monomodo tiene valores de 0.5 ps/Km.nm.

La dispersión cromática de guía de onda se puede utilizar para contra-restar el efecto de la dispersión cromática de material, esto se realiza de manera natural en longitudes de onda de 1300nm, la cual se denomina longitud de onda de dispersión cromática nula. También pueden hacerse ajustes en los índices de refracción del núcleo/manto, para cancelar éstos efectos y producir una dispersión cromática mínima a longitudes de onda cerca de 1550nm.

Estas fibras manipuladas se denominan, fibras ópticas de dispersión desplazada (DSF), éstas se detallarán más adelante.

1.5.4 Dispersión de modo de polarización (τ_p)

En una fibra óptica, su núcleo no es completamente circular a lo largo de la fibra, por ello no tiene el mismo índice de refracción ni el mismo diámetro en las componentes del modo, por tal motivo en una fibra monomodo la velocidad de propagación que cada componente de un modo vertical y horizontal ve es diferente, llegando en tiempos distintos al otro extremo, de esta manera se produce la dispersión de modo de polarización. Esta dispersión solo existe en la fibra monomodo, y es perjudicial en sistemas con velocidades superiores a 10Gbps, en donde la dispersión cromática es controlada. Los efectos de la dispersión de modo de polarización a grandes distancias se minimizan frente a la dispersión cromática.

1.5.5 Dispersión total (τ)

La dispersión total viene dado por la siguiente ecuación:

$$\tau^2 = \tau_m^2 + (\tau_e + \tau_g)^2 \quad \text{ec. 1.4}$$

- Para la fibra óptica multimodo solo se considera la dispersión modal.
- Para la fibra óptica monomodo, la dispersión modal es nula.

1.5.6 Ancho de banda de transmisión [w]

El ancho de banda (Ghz.Km) asociado a una fibra es de:

$$AB = \frac{0.5}{\tau} \quad \text{ec. 1.5}$$

- Donde τ es la dispersión total expresada en ns
- AB es expresado en Ghz. Km

1.6 OPTIMIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA MONOMODO [D] [W] [X]

Al aumentar la demanda de servicios y aplicaciones que requieren de un medio de transporte con altas capacidades, esta demanda se ve limitada por las características del medio para transportar dichos servicios, en el caso de la fibra óptica la limitación corresponde al tipo de fibra óptica, la longitud de onda y la distancia de transmisión, lo que conlleva a factores de atenuación y dispersión en la misma.

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha creado estándares asociados a fibras optimizadas, las cuales trabajan con grandes tasas de transferencia y en varias longitudes de onda. Un ejemplo son las denominadas G.652.C y G.652.D, las cuales pueden trabajar con longitudes de onda entre 1360 – 1530 nm, esto debido a que en el proceso de su fabricación eliminan los iones hidroxilo que son los causantes de un pico de atenuación en torno a 1380 nm.

Si lo que se necesita es lograr una dispersión cromática nula en longitudes de onda en torno a 1550 nm, es necesario hacer un cambio en la relación entre índices del núcleo/manto, de esta forma cambia la dispersión cromática de guía de onda. Una vez que logramos cambiar esta dispersión se puede utilizar para anular la dispersión cromática de material y lograr el objetivo propuesto.

Ejemplos de este tipo de trabajo son las fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada nula ZDSF, norma G.653 y G.654, las cuales tienen una dispersión cromática nula en longitudes de onda en torno a 1550nm, en esta fibra se optimizan al mismo tiempo, tanto la dispersión como la atenuación en la tercera ventana para mejorar su transmisión.

Existen las fibras ópticas de dispersión desplazada no nula NZDSF, norma G.655, se denomina de ésta forma porque tiene desplazado el punto de dispersión cromática nula, son utilizadas para el transporte de varias longitudes

de onda evitando el efecto FWM. Este fenómeno crea nuevas frecuencias en base a las transmitidas por la fibra en sistemas DWDM y WDM, por ejemplo si se transmiten 3 frecuencias, el efecto FWM crea una cuarta frecuencia siendo ésta $F_4 = F_1 + F_2 - F_3$.

También existen las recomendaciones G.656 y G.657, las cuales sirven para trabajar con valores muy bajos de dispersión cromática en varias bandas de transmisión y mejoran las características de capacidad en el transporte de la información en sistemas WDM y DWDM.

1.7 CABLES DE FIBRA ÓPTICA PARA USO EXTERNO (*OUTDOOR*) [J]

Cada cable de fibra óptica es diferente en su estructura, la fig. 1.11 muestra un tipo específico de cable de fibra, utilizado en ambientes externos. Todo depende del ambiente de trabajo y el tipo de aplicación para el cual se lo va a ocupar, por ejemplo cables aéreos, subterráneos, submarinos, etc.

1.7.1 Estructura de cables de fibra óptica [E]

De acuerdo a su estructura existen dos tipos de cable de fibra óptica. Los cuales son:

- **Cables de estructura ajustada.** Éstos son utilizados en ambientes internos, de oficina o comerciales, debido a que son sensibles a la presión, son muy flexibles produciendo un radio de curvatura muy pequeño lo cual puede generar pérdidas por microcurvatura, por ende no son útiles en ambientes de trabajo hostiles.
- **Cables de estructura holgada.** Este tipo de cable es adecuado para las instalaciones externas, y para tendido subterráneo, ya que las fibras contenidas dentro de éste son un poco más largas que el revestimiento, lo cual permite que el cable al momento de su instalación se pueda estirar sin afectar las características de transmisión.

Están contruidos con tubos holgados rellenos de un gel que es resistente al agua que brinda resistencia a la deformación, degradación y envejecimiento, por lo que son ideales para ambientes hostiles de instalación y funcionamiento.

1.7.2 Cables aéreos

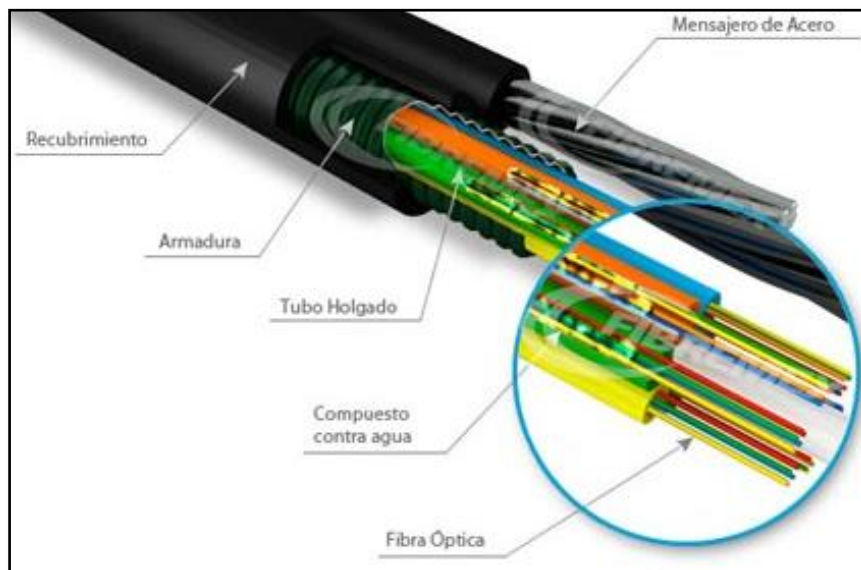


Fig. 1.11 Cable óptico figura 8 para uso exterior ^[8]

Generalmente contienen estructuras de acero o de Kevlar que protegen los hilos de fibra óptica. Existen tres opciones las cuales se detallan a continuación. Ver fig. 1.11

1.7.2.1 Cable OPWG ^[1]

Posee características de alta resistencia mecánica para el tendido aéreo, aunque depende de la distancia entre postes, las condiciones ambientales y el número de fibras que posee.

Las fibras que transporta se encuentran protegidas dentro de un tubo de aluminio el cual reduce efectos de humedad y sobrecalentamiento, además tiene dos capas de alambres metálicos que rodean el área óptica, normalmente son contruidos con aleación de aluminio y alma de acero. Se ilustra mejor en

la fig. 1.12, éste acepta hasta 120 hilos de fibra óptica por cable, trabajan con temperaturas de -40°C hasta 85°C , con longitudes de onda de 1310 y 1550nm.

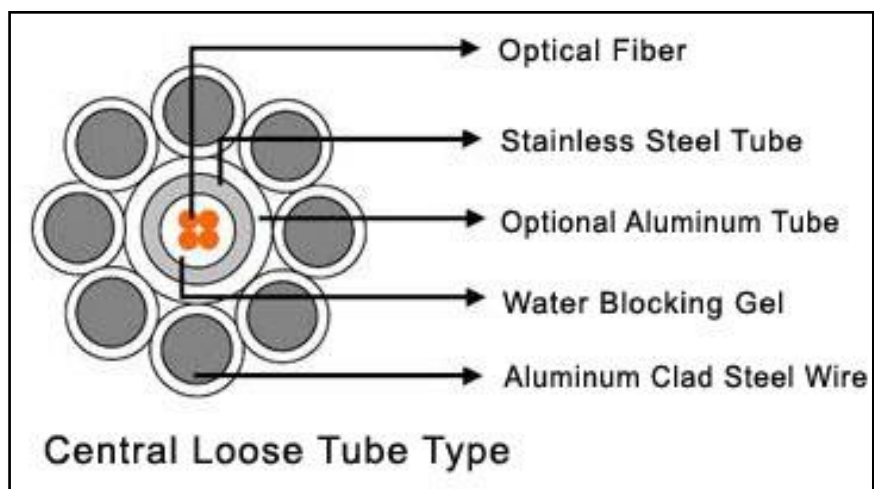


Fig.1.12 Cable OPWG ^[9]

1.7.2.2 Cable ADSS ^[K]

Es totalmente inmune a interferencias electromagnéticas y no es susceptible a la caída de rayos ya que no tiene alma metálica, se aplica a distancias medias largas, hasta vanos de 600 metros, comparado con el cable OPWG éste es mucho más económico.

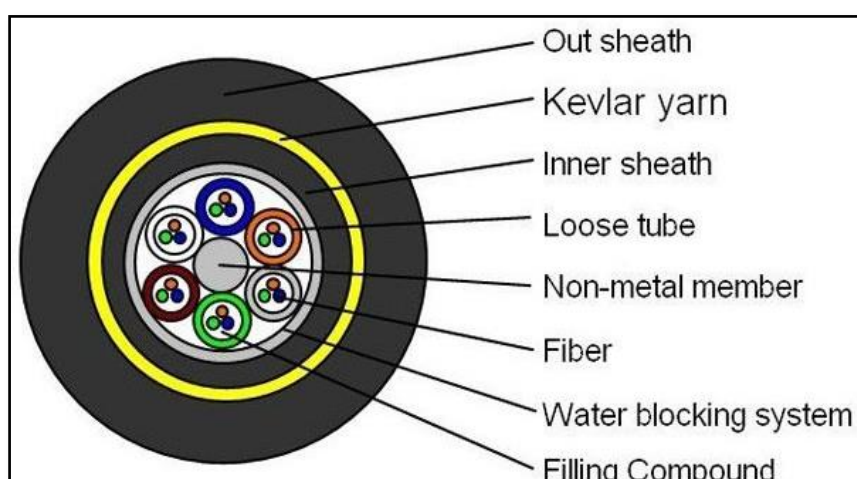


Fig. 1.13 Cable ADSS ^[10]

Está recubierto de polietileno que es uno de los polímeros más simples, éste ofrece flexibilidad a grandes vanos de distancia y sin ayuda de un mensajero o alma de acero, también absorbe las fuerzas de tensión que son provocadas al momento de la instalación. Se ilustra mejor en la fig. 1.13

1.7.2.3 Cable figura 8 [K]

Se trata de un cable que contiene un dieléctrico y un mensajero metálico unido por el plástico de PVC, ideal para instalaciones de tendido aéreo. Éste posee un revestimiento extra de polietileno que rodea al cable óptico dieléctrico y al elemento de ayuda externa, esto proporciona resistencia a la tracción producida durante la instalación, asimismo la sección transversal tiene la forma de ocho, como muestra la fig. 1.14

Este tipo de cable se usa en instalaciones aéreas con vanos cortos, es diseñado en tubos holgados flexibles y de fácil manejo, se pueden fabricar con una cantidad máxima de 288 fibras, son de fácil instalación ya que se puede fijar con el soporte metálico directamente al poste, además el cable y los accesorios de instalación son económicos.

Un pequeño limitante es que solo puede ser instalado en líneas de distribución de bajos voltajes debido a su guía metálica.

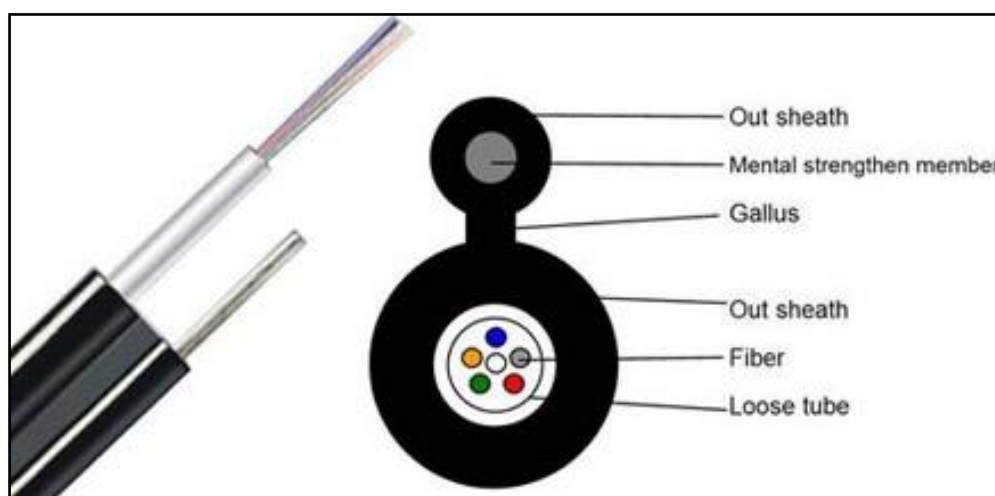


Fig. 1.14 Cable Figura 8 ^[11]

1.7.3 Herrajes para sujeción de cables de fibra óptica aérea [L]

Éstos son elementos metálicos de acero que no provocan daño al poste y además ayudan a la retención del cable en un tendido aéreo. Se utilizan dos tipos, estos son: de suspensión y retención.

Dependiendo del tramo de tendido de fibra óptica, se utilizan herrajes de retención cuando éste presenta curvas o irregularidades, y herrajes de suspensión cuando dicho tramo es recto y continuo. A continuación se muestran ejemplos de cada uno de ellos en la fig. 1.15 y 1.16

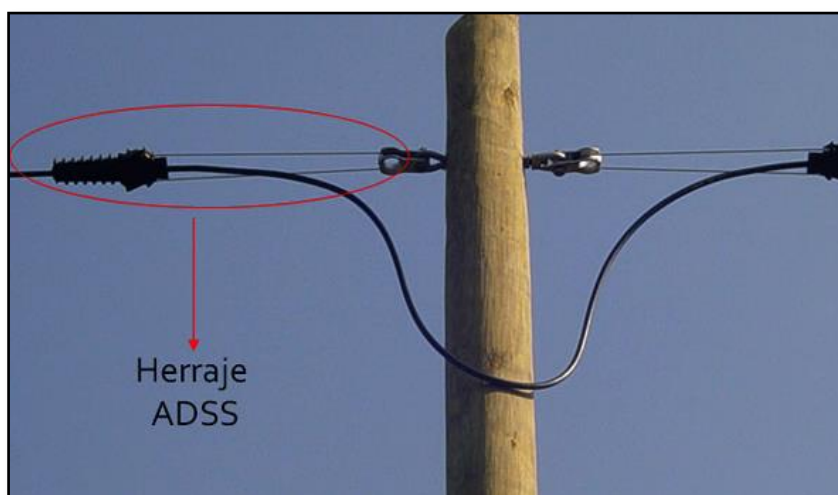


Fig. 1.15 Herraje de retención para cables ADSS ^[12]



Fig. 1.16 Herraje de suspensión para cables ADSS ^[13]

1.7.4 Estándares para fibra óptica monomodo [C][T]

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) es la Organización de las Naciones Unidas encargada de regular las telecomunicaciones entre las distintas administraciones y empresas operadoras. Este organismo ha publicado varios estándares en los cuales incluye las características de las fibras ópticas monomodo.

Como se definió anteriormente las características de cada una de ellas, existen varias normas como son: G.653, G.654, G.655, G.656 y G.657 en las cuales sus características de transmisión sobrepasan en mucho a las de la norma G.652

La capacidad requerida por los enlaces en el diseño a realizar no justifican el uso de éste tipo de estándares de gran capacidad ya que no se va a utilizar ningún tipo de multiplexación para el transporte de la información, las distancias de los enlaces requeridos en el diseño son cortas y no necesitan repetidores en su trayecto, por lo que es suficiente que cumplan con la norma G.652

Las fibras con norma G.652, se dividen en las normas G.652.A y G.652B, éstas presentan un pico de atenuación por la presencia de iones hidroxilo (OH-) alrededor de la longitud de onda de 1383nm, mientras que las normas G.652.C y G.652.D, eliminan en su proceso de fabricación los iones hidroxilo (OH-) con lo que mitigan este tipo atenuación.

Ésto se traduce en más ancho de banda y hace que estas fibras normadas sean ideales para la transferencia de información en sistemas ópticos utilizando bajas, medias y altas velocidades de transmisión.

1.7.4.1 Estándar G.652

Como lo sostiene la Recomendación de la ITU en la norma Serie G: Características de un cable de fibra óptica, (2000). *“Esta Recomendación*

describe las características geométricas y de transmisión de fibras y cables monomodo cuya dispersión cromática y longitud de onda de corte no esté desplazada de la región de longitud de onda de 1310nm.”

Esto quiere decir que, este tipo de fibra óptica tiene dispersión cromática nula en la ventana de 1310nm, por lo que es ideal para transmitir información a grandes velocidades en distancias medias y largas, son fibras optimizadas para su utilización en longitudes de onda cercanas a 1310nm, aunque también pueden transmitir en otras longitudes de onda.

Dentro de la norma G.652, de acuerdo a sus características de transmisión y baja atenuación, la más utilizada y recomendada es la G.652.D, ya que permite transmisiones en un rango de longitudes de onda que van desde los 1360 hasta 1530nm, también es conocida como fibra óptica ZWP (*Zero Water Peak*), debido a que los picos de atenuación causados por los iones hidroxilo en longitudes de onda cercanas a 1383 son eliminados casi en su totalidad en su proceso de fabricación. Todas estas características son evidenciadas en la tabla 1.1

ATRIBUTOS DE LA FIBRA G.652.D		
ATRIBUTO	DATO	VALOR
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6 – 9,5 μm
	Tolerancia	+ - 0,6 μm
Diámetro del manto	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	+ - 1 μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0 %
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 μm	0,1 dB

Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	λ_{0min}	1300 nm
	λ_{0max}	1324 nm
	$S_{0 min}$	0,092 ps/nm ² .Km
ATRIBUTOS DEL CABLE		
ATRIBUTO	DATO	VALOR
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 – 1625 nm	0,4 dB/Km
	Máximo de 1383 nm +- 3 nm	≤0,4 dB/Km
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 Cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/√Km

Tabla 1.1 Características de la fibra óptica monomodo G.652.D recomendación UIT-T

1.8 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA [L]

Un sistema de fibra óptica está constituido por tres bloques principales, los cuales se muestran a continuación.



Fig. 1.17 Diagrama de bloques de un sistema de fibra óptica

1.8.1 Transmisor óptico [L] [M] [Y]

Su función principal es la conversión de la señal eléctrica de entrada a una señal óptica para poder ser transmitida por el canal óptico de comunicación. Los componentes de manera general del transmisor óptico son:

- Fuente óptica
- Modulador

Aunque pueden existir varios componentes extras para la transmisión, se ha tomado un esquema general del transmisor.

La fuente óptica es la que genera la onda de luz portadora, este haz de luz va a transportar la información a través de la fibra hasta el receptor.

Al modulador ingresa la señal eléctrica que contiene la información a ser transportada y la señal óptica portadora, ambas son moduladas y enviadas a un dispositivo que se encarga de enfocar con la mayor eficiencia posible la señal óptica modulada sobre la entrada de la fibra óptica. Las fuentes deben emitir luz a una longitud de onda dentro del rango de la ventana de transmisión en la que la fibra óptica va a trabajar.

Estos emisores tienen que estar diseñados para tener estabilidad frente a cambios de temperatura, pequeño tamaño para un acople efectivo de la luz en la fibra, apropiada potencia de salida para transmitir a distancias adecuadas y evitar la saturación en la recepción.

1.8.1.1 Fuentes ópticas [M] [Y]

Existen dos tipos de fuentes ópticas adecuadas para la comunicación óptica, los cuales son: diodos emisores de luz (LED), y diodos de inyección láser (ILD).

1.8.1.1.1 Diodo emisor de luz

Un LED es un diodo de unión P-N, que emite un haz de luz cuando se le aplica un voltaje en polarización directa, cuando esto ocurre los electrones de la capa N se recombinan con los huecos existentes en la capa P, esta recombinación libera energía en forma de un fotón de luz. La emisión de luz en este tipo de fuente es de manera espontánea, por lo que la potencia emitida es baja en comparación a un láser y su ancho de banda espectral es más amplio, como se puede ver en la fig. 1.18

Para efectos prácticos y con el fin de limitar la dispersión cromática en la fibra óptica el ancho de banda espectral adecuado para este tipo de fuentes es de entre 1nm a 7nm. Existen algunos tipos de LEDs que se pueden utilizar, por ejemplo:

- **SLED (*Surface emitting LEDs*), LEDs de emisión por superficie:**
tienen una configuración diferente para asegurar una anchura espectral mucho más angosta que un LED normal, poseen diferentes capas de material P y N.
- **ELEDs (*Edge emitting LEDs*), Diodos LED de emisión de borde:**
El área de emisión de fotones es limitada en una zona estrecha de la unión de los materiales N y P, su anchura espectral es más estrecha por ello las pérdidas de acoplamiento son muy pequeñas.
- **SLD (*SuperLuminiscent diode*), LEDs Supeluminiscentes:**
Solo una de sus caras posee cierta reflexión, por lo que el efecto laser no se produce en este tipo de diodos, aunque la potencia que emite un SLD es mucho mayor que cualquier otro LED, para llegar a la misma potencia de un láser necesita una corriente de empuje muy alta, por ello no es muy utilizado.

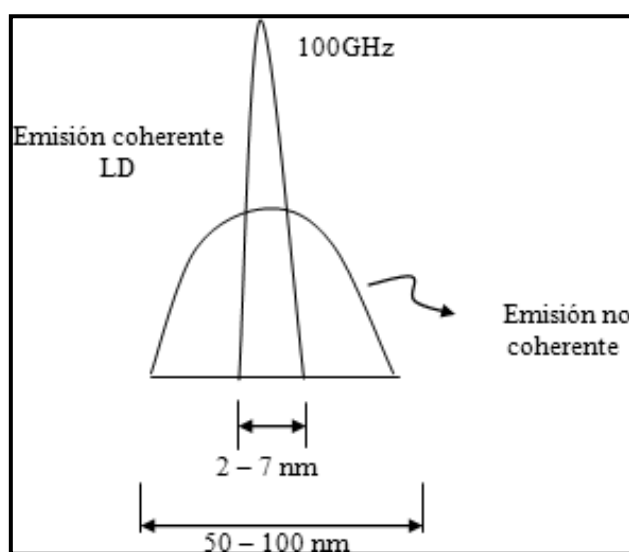


Fig. 1.18 Ancho espectral de un LED y un Láser ^[14]

1.8.1.1.2 Fuentes láser

Estas fuentes ópticas poseen ciertas características como son: baja anchura espectral para limitar la dispersión cromática, capacidad de modulación hasta frecuencias arriba del orden de los GHz, potencia de emisión encima del orden de los mW, baja corriente de bombeo para alcanzar el efecto láser.

La emisión de luz por medio de un láser es estimulada o coherente, por ello se consigue una buena potencia de salida, pequeño ancho espectral y mucha direccionalidad en el haz de luz emitido. Existen varios tipos de láser, éstos se pueden utilizar de acuerdo al tipo de comunicación que se va a realizar y pueden ser:

- **VSCSEL (*Vertical Cavity Surface Emitting*)**, Laser de cavidad vertical.
- **DFB (*Distributed FeedBack Laser*)**, Laser de realimentación distribuida.
- **DBR (*Distributed Bragg Reflection Laser*)**, laser de reflexión Bragg distribuida.
- **ECTL (*External Cavity Tunable Laser*)**, Láser sintonizable de cavidad externa

Los sistemas de fibra óptica pueden transmitir información analógica e información digital con la misma fuente de luz, pero con distintos tipos de transmisores, esto debido a que la transmisión digital ofrece canales regenerativos, pero la transmisión analógica ofrece canales degenerativos los cuales amplifican hasta el ruido.

1.9 CARACTERÍSTICAS DE UNA RED DE DATOS

Una red convergente debe ser altamente confiable, por ello, dentro de un ambiente amigable de trabajo debe garantizar, escalabilidad, interoperabilidad, calidad de servicio y seguridad de la información.

1.9.1 Seguridad de la información

La información es lo más importante dentro de cualquier compañía, negocio, entidad o institución, etc. Es por esa razón que está expuesta a múltiples ataques los cuales buscan vulnerabilidades dentro de los sistemas de seguridad para poder acceder a ella, cuando se habla de vulnerabilidades se refiere a los elementos que, al ser explotados por amenazas, afectan a la confidencialidad, disponibilidad e integridad de la información.

Estas vulnerabilidades pueden ser de varios tipos:

- **Físicas:** ambiente en el que se almacena o maneja la información.
- **Hardware:** defectos de fabricación, de actualización, mantenimiento inadecuado.
- **Naturales:** condiciones de la naturaleza que pueden provocar riesgo.
- **Humanas:** daños que las personas pueden causar a la información (hackers, virus, empleados, etc.).
- **Software:** aplicaciones que permiten accesos indebidos.
- **Almacenamiento:** soportes físicos utilizados para almacenar información.
- **Comunicación:** fallos en la transmisión de la información.

La seguridad de la información es la protección de la misma, para afirmar que un sistema sea seguro, es preciso garantizar la autenticación, confidencialidad, integridad y disponibilidad de toda la información que cruza por nuestra red.

- **Confidencialidad:** Garantiza que la información únicamente va a ser conocida por personas autorizadas.
- **Integridad:** Garantiza que el contenido de información permanece inalterado.
- **Disponibilidad:** Garantiza que la información este siempre disponible para ser procesada por personas o sistemas autorizados.

- **Autenticación:** Garantiza que un usuario que quiere acceder a la red es quien dice ser y no un impostor.

1.9.2 Interoperabilidad

En general, las redes de datos se encuentran distribuidas, dependiendo de la infraestructura física de la compañía en uno o varios edificios, incluso en distintas ciudades, por lo cual es indispensable compartir recursos e información. La interoperabilidad en una red significa que dos o más equipos conectados a la red pueden interactuar, haciendo peticiones y transferencias de datos por medio de protocolos y mecanismos de comunicación estandarizados, es la capacidad de comunicarse, ejecutar programas o transferir datos entre distintas unidades funcionales para que entre ellas puedan cooperar para realizar una tarea de procesamiento de datos.

1.9.3 Escalabilidad

Hoy en día las tecnologías de la información crecen de manera impresionante, es por esta razón que una red debe ser flexible, esto quiere decir que se pueda adaptar a cambios de tamaño y configuración, sin que esto afecte su disponibilidad y seguridad.

1.9.4 Calidad de servicio

Una red convergente debe tener la habilidad de proveer diferentes prioridades a las aplicaciones y servicios dentro de una red, para garantizar el rendimiento de la misma, a esto se le conoce como calidad de servicio.

La implementación de Políticas de Calidad de Servicio se puede enfocar en varios puntos según los requerimientos de la red, los principales son:

- Asignar ancho de banda a ciertas aplicaciones
- Evitar y/o administrar la congestión en la red
- Priorizar paquetes entrantes y salientes

1.10 CARACTERÍSTICAS DE UN ENLACE DE FIBRA ÓPTICA [HH] [V]

Un enlace de fibra óptica tiene que estar correctamente dimensionado para que funcione sin problemas, para ello, éste debe cumplir con la relación siguiente, la cual incluye todos los posibles parámetros que influyen en la atenuación del enlace.

$$P_T - N \cdot \alpha_C - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M_c - M_e \geq P_R \quad \text{ec. 1.6}$$

Dónde:

P_T = Potencia de transmisión (dBm)

α_C = Atenuación de conector en la interfaz (dB)

N = Número de conectores de extremo a extremo de enlace

α_e = Atenuación de empalmes (dB)

α = Atenuación de longitud de fibra óptica (dB/Km)

D = Longitud de la fibra óptica (Km)

N_e = Número de empalmes

M_c = Margen de seguridad de la fibra óptica (dB)

M_e = Margen de interfaz óptico de transmisión (dB)

P_R = Potencia de recepción mínima (dBm)

- El margen de seguridad de la fibra óptica, se lo tiene en el caso de reparaciones futuras del cable de fibra óptica y su valor recomendado es de 1 a 2 dB de atenuación.
- El margen de interfaz óptico de transmisión depende de la distancia de los enlaces, como los enlaces no sobrepasan los 6 Km el margen de atenuación a esta distancia será de alrededor de 3,6 dB. [HH] [M]

Los parámetros requeridos en esta relación se pueden establecer utilizando la recomendación denominada *"Interface de capa física de red óptica de transporte UIT-T G.959.1"*, la cual establece interfaces para fibra ópticas monomodo con capacidades de: 2.5, 10 y 40 Gbps. Se debe escoger una fibra óptica que cumpla con la recomendación G.652 A, B, C o D dependiendo del

tipo de enlace a diseñar y de la longitud de onda de trabajo, para esto, hay que tomar en cuenta la atenuación presente en la transmisión y las máximas distancias entre los enlaces a ser diseñados.

1.11 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA [Z] [HH]

1.11.1 Aspectos a considerar en el diseño de sistemas inalámbricos [HH] [JJ]

A continuación se definen las características de un sistema inalámbrico y todos los aspectos a considerarse en el diseño. Para un mejor entendimiento de las ecuaciones se puede observar la siguiente nomenclatura:

Pp = Pérdida por propagación

Pt = Potencia de transmisión

Pr = Potencia del receptor

Gt = Ganancia de transmisión (ganancia de la antena)

Gr = Ganancia de recepción (ganancia de la antena)

Pc = Pérdidas del cable

Ppg = Pérdidas del pigtail

Pbr = Pérdidas del Branching

Pac = Pérdidas de acoplamiento de antenas

Fm = Margen de desvanecimiento

Lb = Link Budget

Ur = Umbral de recepción.

Sr = Sensibilidad de recepción

d = Distancia (Km)

f = Frecuencia (MHz)

1.11.2 Pérdida por propagación [HH] [JJ]

Es la pérdida que sufre una onda electromagnética a medida que se propaga en línea de vista a través del vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de los objetos cercanos.

La ecuación para calcular este tipo de pérdida es la siguiente, se toma la frecuencia en MHz y la distancia en Km.

$$P_p = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{ec. 1.7}$$

1.11.3 Potencia del receptor [HH] [JJ]

PÉRDIDAS	VALOR
Cable	0,05 - 1dB /metro
Pigtail	0,4 dB
Branching	0,4 dB
Acoplamiento	0,1 a 0,4 dB

Tabla 1.2 Distintas pérdidas consideradas para el diseño [HH] [JJ]

La potencia en recepción es igual a la diferencia entre la potencia de transmisión, la suma de todas las pérdidas que se encuentran entre el transmisor y el receptor y las ganancias de las antenas en transmisión y recepción, todos estos tipos de pérdidas se los presentan en la tabla 1.2, las ganancias vienen dadas por los fabricantes de las antenas, y la potencia de transmisión viene definida por el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) para enlaces inalámbricos.

1.11.3.1 Pérdidas en la línea de transmisión [HH] [JJ]

Las pérdidas del cable, varían desde los 0.05 dB hasta 1 dB por metro. Por lo tanto, se considera una pérdida de 1 dB entre el cable y los conectores; además, se considera las pérdidas a causa del *pigtail*, que es un adaptador entre el punto de acceso y el radio inalámbrico, son de 0.4 dB.

1.11.3.2 Pérdidas en el dispositivo protector de línea (branching) [HH] [JJ]

El *branching* o protector de línea, es un dispositivo que permite filtrar señales de radio frecuencia y protege los sobre voltajes y descargas eléctricas,

desviándoles hacia una conexión a tierra. Este dispositivo, introduce una pérdida de 0.4 dB.

1.11.3.3 Pérdidas por acoplamiento de antenas [HH] [JJ]

Estas pérdidas por lo general varían entre 0,1 y 0,4 dB.

1.11.4 Cálculo de la potencia del receptor [HH] [JJ]

El cálculo se lo realiza bajo el modelo de propagación de espacio libre o modelo de Friss, de la siguiente forma:

$$Pr = Pt + Gt - Pc - Ppg - Pbr - Pac + Gr - Pc - Ppg - Pbr - Pac - Pp \quad \text{ec. 1.8}$$

Para este cálculo se estimó un valor de potencia de transmisión de 100 mW (20 dBm), ya que de acuerdo al CONATEL (Consejo Nacional de telecomunicaciones), ésta es la potencia máxima a transmitir en una comunicación inalámbrica punto - punto y punto – multipunto en bandas de frecuencia licenciadas y no licenciadas. La ganancia de las antenas de acuerdo a la resolución 417 - 15 del CONATEL debe ser entre 6 y 25 dBi, en la banda de frecuencia que van desde 5725MHz a 5850 MHz.

1.11.5 Margen de desvanecimiento [HH] [JJ]

Al margen de desvanecimiento se lo conoce como factor de amortiguamiento en la ganancia total del sistema, el mismo que considera características no ideales así como la propagación de ondas de múltiples trayectorias (pérdidas por múltiples trayectorias), y sensibilidad a superficie rocosa. Es muy importante la consideración del margen de desvanecimiento en la determinación de la ganancia de un sistema, puesto que influye en las condiciones atmosféricas causando situaciones temporales anormales en la misma y produciendo alteraciones en la pérdida de trayectoria en el espacio libre.

El margen de desvanecimiento permite relacionar la confiabilidad del enlace. Para obtener este dato se utiliza la fórmula de Bamett-Vigant:

$$Fm = 30 \log d + 10 \log(6.A.B.f) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad \text{ec. 1.9}$$

Dónde:

- Fm = Margen de desvanecimiento. [dB]
- $1-R = 0.00001$ (Objetivo de confiabilidad del enlace)
- d = Longitud de del trayecto [Km]
- A = Factor de rugosidad:
 - 4, si es terreno plano o agua
 - 1, para un terreno promedio.
 - 0.25, para un terreno rugoso.
- B = Factor climático:
 - 0.5 zonas calientes y húmedas.
 - 0.25, zonas intermedias.
 - 0.125, para áreas montañosas o muy secas.
- f = frecuencia [HZ].

Para el cálculo se asumirá que $A=1$ y $B=0.125$, ya que el enlace es en la ciudad de Quito DM, se considera un terreno promedio, y la zona es montañosa.

Se considerará la confiabilidad más alta, la cual es: $99.99\% = (1-R) = 0.0001$ en el enlace.

1.11.6 Umbral de recepción _{[HH] [JJ]}

El umbral de recepción, es un valor referencial de potencia que el equipo receptor dispone (sensibilidad); valores de señal por encima de éste, lograrán establecer una comunicación inalámbrica confiable.

$$Ur = Pr - Fm \quad \text{ec. 1.10}$$

1.11.7 Viabilidad del enlace (*Link Budget*) [HH] [JJ]

Para conseguir un buen funcionamiento de una red inalámbrica, la potencia de emisión sumada las pérdidas de propagación, incluyendo la sensibilidad de recepción debe ser mayor que 0. El margen resultante indica si es viable o no un enlace. Un buen radio enlace debería tener mínimo 5 dB como margen para considerar que el enlace es viable.

$$L_B = P_t + G_t - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} + G_r - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} + S_r - P_p \quad \text{ec. 1.11}$$

1.12 UBICACIÓN DE EQUIPOS ENLACE INALÁMBRICO [HH] [II]

Para el cálculo y validación de radioenlace se utilizará el software Radio Mobile, éste trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice. Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo.

El software acepta varios formatos de datos de elevación: GTOPO30 (*Global Topographic Data*), DTED (*Digital Terrain Elevation Data*), y SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). En la siguiente tabla se muestra algunas características de *Radio Mobile*.

CARACTERÍSTICAS DE RADIO MOBILE	
Rango de frecuencia	20 - 20000 MHz
Altura de antenas	5 – 2999 m
Rango de elevación terreno	-999 a 2000m
Clima	Ecuatorial, subtropical continental, desértico, subtropical marino, temperado continental, etc.
Potencia de transmisión	-1^{-8} a 1^6 W
Sensibilidad de equipos	0,01 a 2000 μ V

Ganancia de antenas	-10 a 100 dBi
Número de redes	Más de 50
Número de unidades	Más de 1000
Número de sistemas	Más de 255
Topologías	Red de voz, red de datos, red de datos clúster.
Fuente de elevación	SRTM1, 3 DTED 1, 2 GTOPO30.
Cobertura	5000 Km

Tabla 1.3 Características del Software Radio Mobile ^[1]

Además el software posee parámetros configurables de aspectos del terreno sobre el cual se quiere levantar un enlace, estos parámetros ayudan a simular el enlace de una manera más real con valores que identifican el sitio para levantar el enlace inalámbrico. Estos parámetros son:

1.12.1 Refractividad de la superficie ^[R]

Este parámetro determina el grado de curvatura que sufrirán las ondas electromagnéticas en su recorrido a través del enlace inalámbrico, en varios modelos se asume este valor igual al de la curvatura de la tierra que es de 301 unidades de N, (N es la densidad atmosférica).

1.12.2 Permitividad y conductividad del suelo ^[R]

Las características eléctricas de cualquier medio pueden expresarse mediante estos dos parámetros, La conductividad es la capacidad para dejar pasar de manera libre una corriente eléctrica, en el modelo se toma de referencia la conductividad del suelo en alrededor de 0,005 S/m, la permitividad es un valor adimensional que depende de la composición del suelo y las frecuencias de trabajo.

Un ejemplo de éstas se presenta en la tabla 1.4.

TIPO DE SUELO	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD (Siemens/m)
Tierra media	15	0,005
Tierra pobre	4	0,001
Tierra rica	25	0,02
Agua dulce	81	0,01
Agua salada	81	5

Tabla 1.4 Características de permitividad y conductividad utilizadas en enlaces inalámbricos en el software Radio Mobile ^[R]

Cada uno de estos parámetros genera una simulación que se acerca a la realidad del sitio donde se va a realizar el enlace inalámbrico, al incluir la superficie, el suelo y el clima del sitio elegido para éste, el software creará datos reales y útiles para el funcionamiento óptimo del mismo.

1.13 ZONA DE FRESNEL ^[Z]

Es el volumen de espacio que se tiene entre el emisor y el receptor en un enlace inalámbrico, este espacio debe estar totalmente despejado, de manera que no existan obstáculos para la propagación de la onda electromagnética.

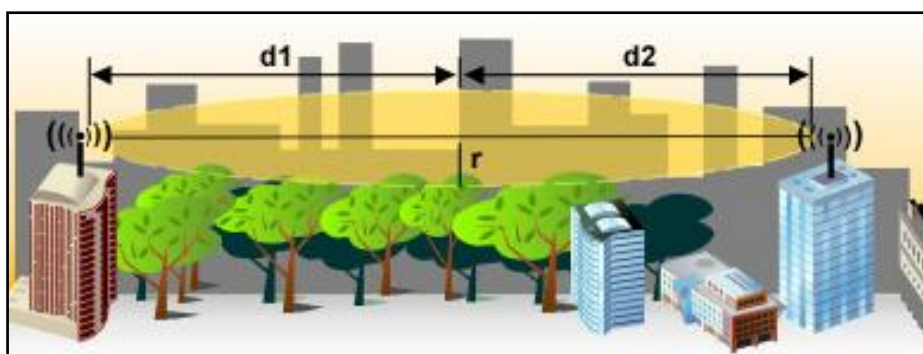


Fig. 1.19 Zona de Fresnel ^[18]

Lo ideal es que la primera zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE LA RED ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS [Z] [S]

2.1 INTRODUCCIÓN

“Desde 1994, La Universidad de Las Américas ofrece a sus alumnos una oferta académica de primera. Nuestros programas de estudios se manejan bajo estándares internacionales, garantizando así una educación integral que permite a nuestros graduados estar listos para enfrentar cualquier desafío profesional.

La misión de la universidad es formar personas competentes, emprendedoras, exitosas y con visión global, comprometidas con la sociedad, basados en la excelencia y los valores.

La visión, crear un modelo de referencia para la educación superior ecuatoriana; construir una comunidad universitaria orgullosa y comprometida con el país, buscando de manera constante la realización personal y profesional de sus miembros, se basan estos objetivos en los valores, rigor académico y conducta ética” [S].

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL DE LA UNIVERSIDAD

La Universidad de las Américas se encuentra dividida en 3 campus, los cuales son: Campus Colón, campus Query, Campus Granados, este último es el más importante ya que desde aquí se manejan todos los servicios de comunicación para la comunidad universitaria. La distribución general de la red de la universidad se muestra en la fig 2.1, esta información fue proporcionada por el departamento de infraestructura de la Universidad de las Américas.

Se está construyendo un nuevo campus llamado Ecopark, el cual está incluido dentro de este análisis, para el dimensionamiento del enlace de esta nueva

sede se va a realizar una proyección de personal administrativo, planta docente y alumnos, los cuales se han ido incrementando cada año, principalmente los últimos 5.

Como se puede observar en la fig. 2.1 existe una sede denominada Forense, a ésta no se la tomará en cuenta dentro del análisis y diseño ya que en sus instalaciones se encuentran únicamente 2 usuarios accediendo a la red, y serán reubicados en el nuevo campus una vez acabada su construcción.

Se puede observar en la misma figura que las sedes están conectadas únicamente por un enlace, éste es arrendado a la empresa Telefónica-Movistar, por lo que el objetivo de este proyecto es diseñar una red convergente y redundante, cuya infraestructura, mantenimiento, gestión y administración pertenezcan a la institución educativa en cuestión.

Con la utilización de la tecnología de fibra en el proyecto de diseño, se busca garantizar una red convergente que permita manejar las aplicaciones existentes y futuras, con servicios ofrecidos tanto a nivel local (dentro del campus), como de acceso remoto; que proporcionen a la comunidad universitaria más y mejores oportunidades de aprendizaje colaborativo.

El diagrama propuesto de la red universitaria incluyendo el enlace de *backup* se presenta en la fig. 2.2, más adelante se detalla un enlace inalámbrico que servirá de *backup* en uno de los enlaces de dicho proyecto.

La fig. 2.3 muestra la distribución geográfica de todos los campus que serán analizados en el presente proyecto, se ha tomado como ayuda para elaborar esta figura el software gratuito Google Earth, con el cual se puede ubicar dentro del Distrito Metropolitano de Quito cada una de las sedes pertenecientes a la Universidad de las Américas, así como determinar su distancia y los mejores caminos para que el enlace de fibra óptica pueda ser instalado.

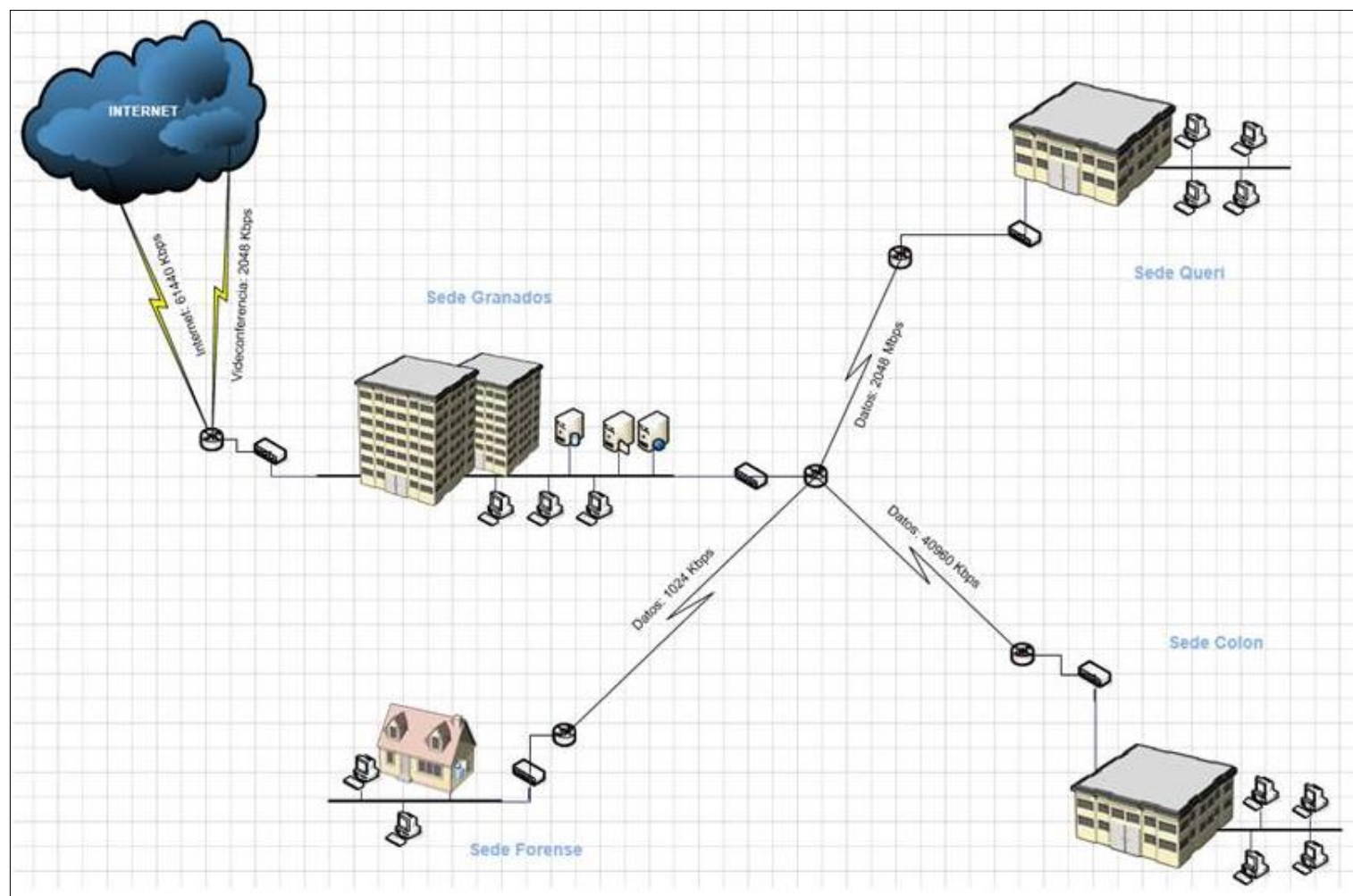


Fig. 2.1 Esquema general de la red actual de la UDLA

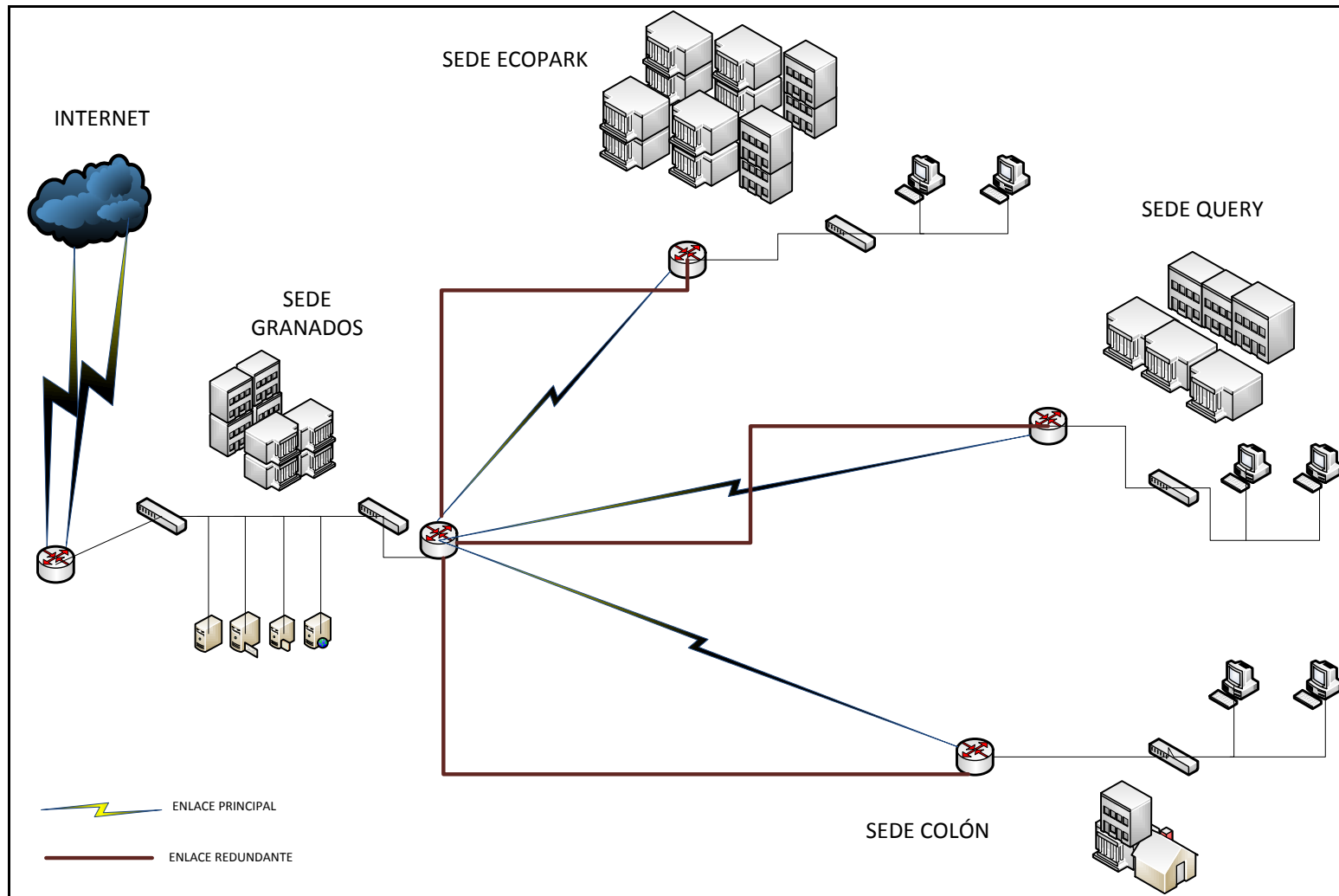


Fig. 2.2 Diagrama general de interconexión del proyecto de diseño de red y enlace de backup para la UDLA

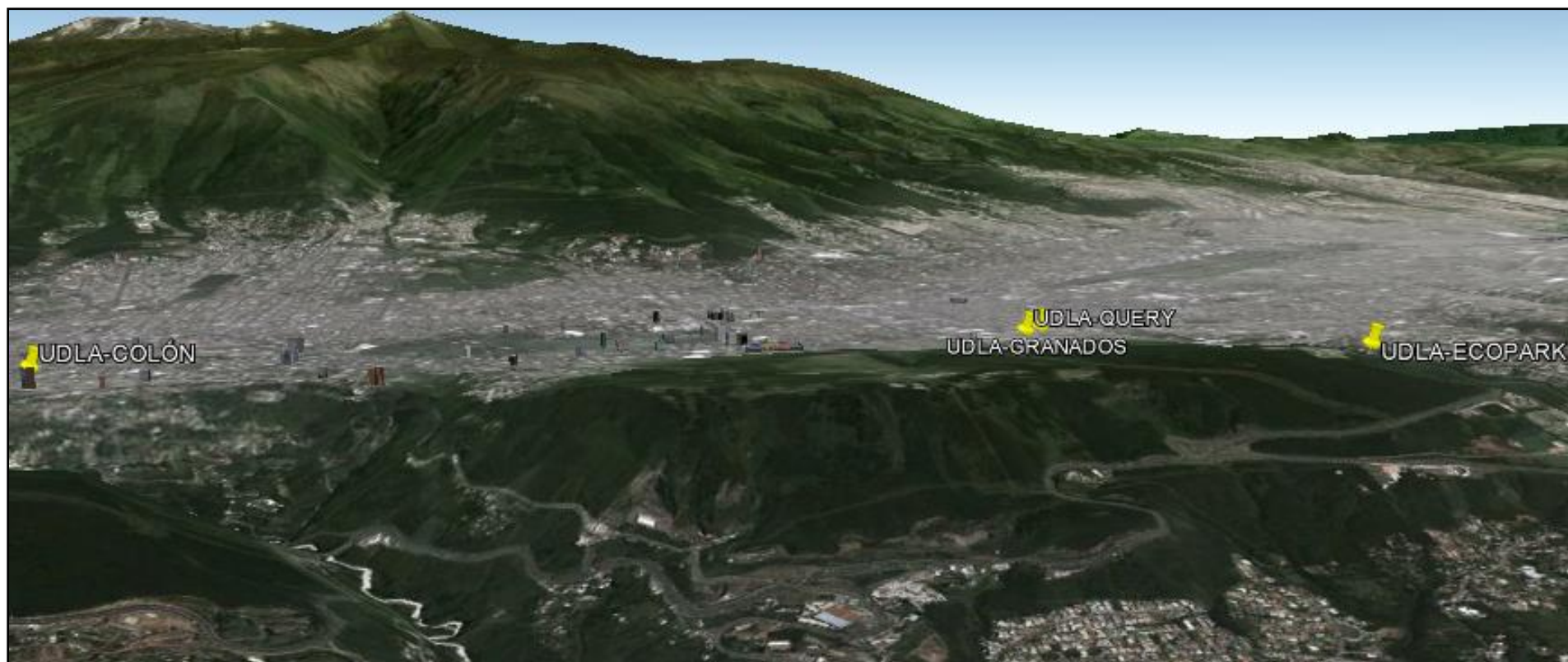


Fig. 2.3 Ubicación geográfica de las sedes de la UDLA utilizando el software Google Earth

La fig. 2.3 muestra la red de la UDLA ya con el nuevo campus Ecopark, el cual se estima que iniciará su funcionamiento a mediados del año 2015, por lo que será considerado para el diseño de este proyecto.

El *core* de la red, como se mencionó anteriormente, está ubicado en la sede Granados, que fue la primera sede en ser construida con las características y requerimientos para funcionar como un campus universitario.

Dentro de la sede granados, se encuentra el área de infraestructura tecnológica, la cual cuenta con un cuarto de telecomunicaciones, acondicionado para albergar a todos los servidores para cada una de las aplicaciones y servicios que la comunidad universitaria, administrativos y docentes utilizan.

Cabe señalar que en cada una de las sedes, existe un cuarto de telecomunicaciones, dentro del cual residen los equipos de comunicación necesarios para el enlace entre sedes, éste está acondicionado para tal uso, cuenta con elementos de protección para todos los equipos de comunicación y suministro eléctrico proporcionado por un UPS (sistema de alimentación eléctrica interrumpida) para evitar daños en el caso de falla de energía eléctrica.

El *switch* de *core* en una de las sedes, recibe la información directamente por el enlace de fibra óptica arrendado a la compañía Telefónica-Movistar, el cual a su vez, transmite dicha información por un enlace de fibra óptica al *switch* de distribución, a éste están conectados todos los *switches* de acceso, los cuales envían la información directamente a los usuarios o clientes.

La comunicación en cada bloque o edificio dentro de la sede se realiza a través de un cableado horizontal con cable UTP categoría 6, el cual permite manejo de datos a velocidades de *GigabitEthernet* (1000Mbps), y es además compatible con cables de categoría 5e, los cuales son utilizados como *patchcords* para el acceso a usuarios finales. La fig. 2.4 muestra el esquema general de interconexión de la red de acceso al campus Query y Colón.

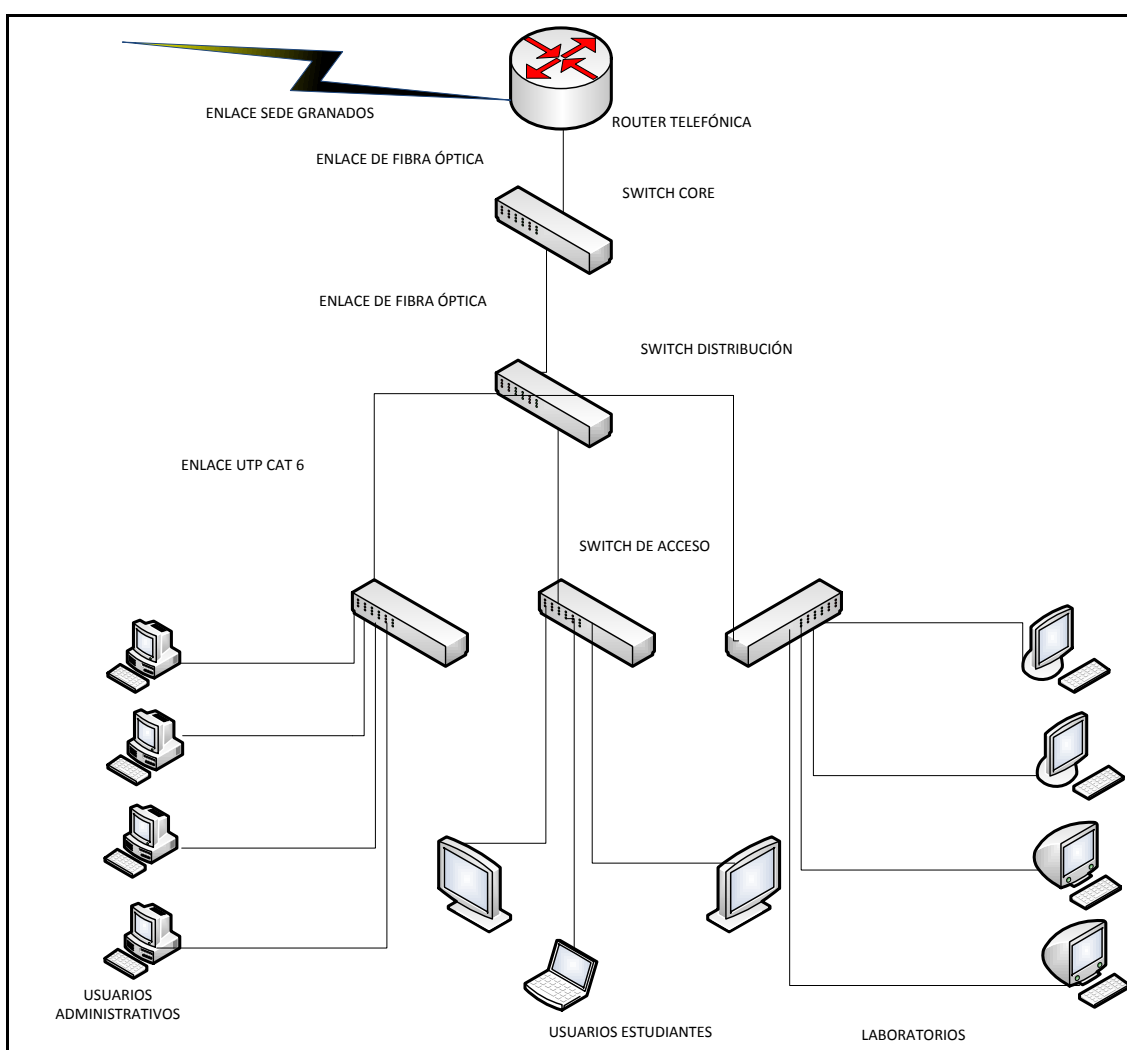


Fig. 2.4 Esquema de la red de acceso a las sedes Query y Colón

A continuación se presenta un esquema del servicio de Internet que la UDLA contrata a través de dos empresas las cuales son: Telconet y Telefónica-Movistar.

La fig. 2.5 muestra la conexión a Internet que actualmente posee la UDLA, el servicio de internet que brinda Telconet es exclusivo para uso del personal administrativo y docente, y el servicio que brinda la empresa Telefónica-movistar es utilizado por los estudiantes. En base a políticas de acceso, niveles administrativos y seguridad de la información, el uso de Internet está dividido para personal administrativo y estudiantes en general.

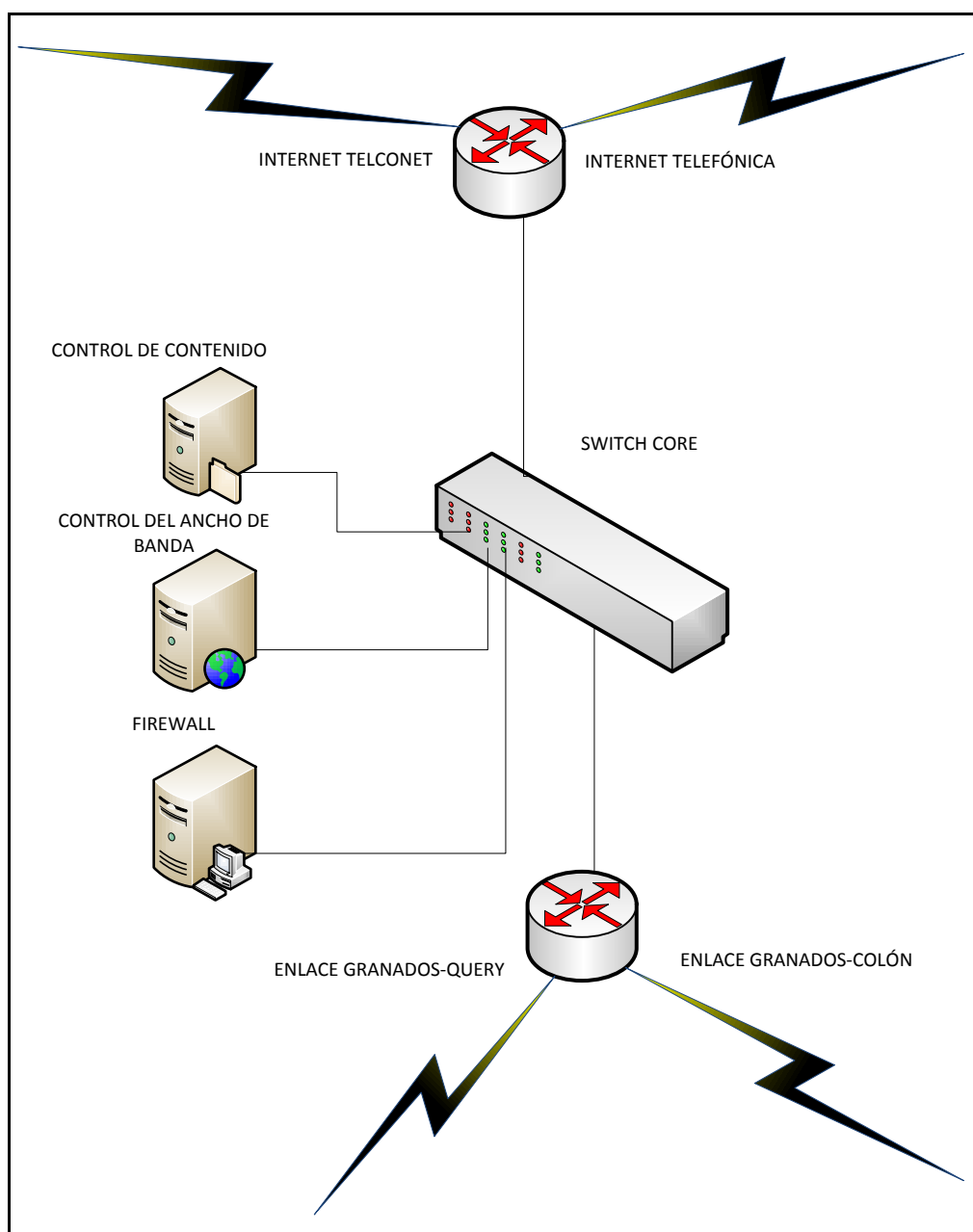


Fig. 2.5 Diagrama general de acceso a Internet y seguridad de la red UDLA

2.2.1 Análisis de la red actual de la universidad

El objetivo de analizar cada uno de los campus de la Universidad de las Américas es conseguir datos específicos de la infraestructura de red con que cada una de éstas cuenta, y obtener información de la conectividad, equipos que emplean, aplicaciones y servicios, con el fin de determinar la forma más rápida y segura de enviar información en el enlace principal y en el de respaldo.

2.2.1.1 Equipos de conectividad de la red UDLA

Las características de cada uno de ellos proporcionará la información necesaria para saber si éstos están en la capacidad de soportar la cantidad actual de tráfico que cursa la red de la UDLA y saber si son óptimos para reutilizarlos en la red a diseñarse. Los equipos con los que trabaja la red de la UDLA son de la marca CISCO, tanto en *core*, distribución y acceso, esto es porque CISCO es una de las marcas más reconocidas a nivel de equipamiento en infraestructura tecnológica y que a pesar de que los costos han sido altos, se ha pretendido mantener esta línea de equipamiento. A continuación sus características.

CAMPUS	ROUTER			
	CANTIDAD	CONEXIÓN	PROTOCOLO DE GESTIÓN	CARACTERISTICAS GENERALES
GRANADOS	2 Serie: 3560	Ethernet Fast Ethernet GigabitEthernet Serial STP (12 puertos)	SNMP RMON	DHCP, PoE, VLAN, MPLS, ACL, QoS, RIP, EIGRP, OSPF, IPSec.

Tabla 2.1 Router para administración de ISP

CAMPUS	SWITCH DISTRIBUCIÓN			
	CANTIDAD	CONEXIÓN	PROTOCOLO DE GESTIÓN	CARACTERISTICAS GENERALES
GRANADOS	8 Serie: 3560	Ethernet FastEthernet GigabitEthernet STP 24 puertos	SNMPv1, v2, v3 RMON	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra , DHCP, PoE, VLAN, MPLS, ACL, QoS, RIP, EIGRP, OSPF, IPSec
COLÓN	2 Serie: 3560	Ethernet FastEthernet GigabitEthernet STP 24 puertos	SNMPv1, v2, v3 RMON	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra , DHCP, PoE, VLAN, MPLS, ACL, QoS, RIP, EIGRP, OSPF, IPSec
QUERY	6 Serie: 3560	Ethernet FastEthernet GigabitEthernet STP 24 puertos	SNMPv1, v2, v3 RMON	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra , DHCP, PoE, VLAN, MPLS, ACL, QoS, RIP, EIGRP, OSPF, IPSec

Tabla 2.2 Switch de distribución en los campus de la UDLA

CAMPUS	SWITCH CORE			
	CANTIDAD	CONEXIÓN	PROTOCOLO DE GESTIÓN	CARACTERISTICAS GENERALES
GRANADOS	2 Serie: 6509	Fastethernet GigabitEthernet 10GigabitEthernet STP (48 puertos)	SNMPv1, v2, v3 RMON	PoE(IEEE802.3af), VPN, AutoQoS, ACL, PrivateVLAN, IEEE802.3Triple speed, IEEE802.1Q, rápida reconexión de redundancia (1-2s), OSPF, IS-IS, EIGRP, RIP, CDP, ICMP, IPX, Appletalk, VINES, MPLS, IGMP, TCP, Spanning tree plus (PVST), modulos de voz
QUERY	2 Serie: 3750	Fastethernet GigabitEthernet STP (24 puertos)	SNMPv1, v2, v3 RMON	DHCP, AutoQoS, DTP (Dinamic Trunking Protocol), PAgP (Port Agregation Protocol), LACP (Link Aggregation Protocol), Ethernet Channel, OSPF, EIGRP, RIP, IS-IS, STP, PoE, ACL, VLAN.
COLÓN	2 Serie: 3750	Fastethernet GigabitEthernet STP (24 puertos)	SNMPv1, v2, v3 RMON	DHCP, AutoQoS, DTP (Dinamic Trunking Protocol), PAgP (Port Agregation Protocol), LACP (Link Aggregation Protocol), Ethernet Channel, OSPF, EIGRP, RIP, IS-IS, STP, PoE,, ACL, VLAN.

Tabla 2.3 Switch core para administración de cada campus de la UDLA

CAMPUS	SWITCH ACCESO			
	CANTIDAD	CONEXIÓN	PROTOCOLO DE GESTIÓN	CARACTERISTICAS GENERALES
GRANADOS	20/60 Serie: 2960	Fastethernet GigabitEthernet STP (48 puertos) (24 puertos)	SNMP 1, RMON, Telnet, SNMP 3	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra, VLAN, QoS GigabitEthernet sobre UTP
COLÓN	5/15 Serie: 2960	Fastethernet GigabitEthernet STP (48 puertos) (24 puertos)	SNMP 1, RMON, Telnet, SNMP 3	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra, VLAN, GigabitEthernet sobre UTP, QoS.

QUERY	15/45 Serie: 2960	Fastethernet GigabitEthernet STP (48 puertos) (24 puertos)	SNMP 1, RMON, Telnet, SNMP 3	Autonegociación de velocidad, GigabitEthernet con fibra, VLAN, GigabitEthernet sobre UTP, QoS.
-------	-------------------------	--	---------------------------------------	--

Tabla 2.4 Switch de acceso en los campus de la UDLA

Al analizar las características de cada uno de ellos, se puede concluir que los equipos detallados en las tablas anteriores pueden soportar una comunicación de fibra óptica, ya que cuentan con interfaces para enlaces de altas velocidades, son configurables en protocolos de enrutamiento, calidad de servicio, y poseen protocolos para administración, acceso remoto y transmisión de voz y vídeo sobre IP.

2.2.1.2 Mecanismo de control de voz

La UDLA maneja una central IP-CISCO para la comunicación interna, la red está distribuida como lo indica la fig. 2.6

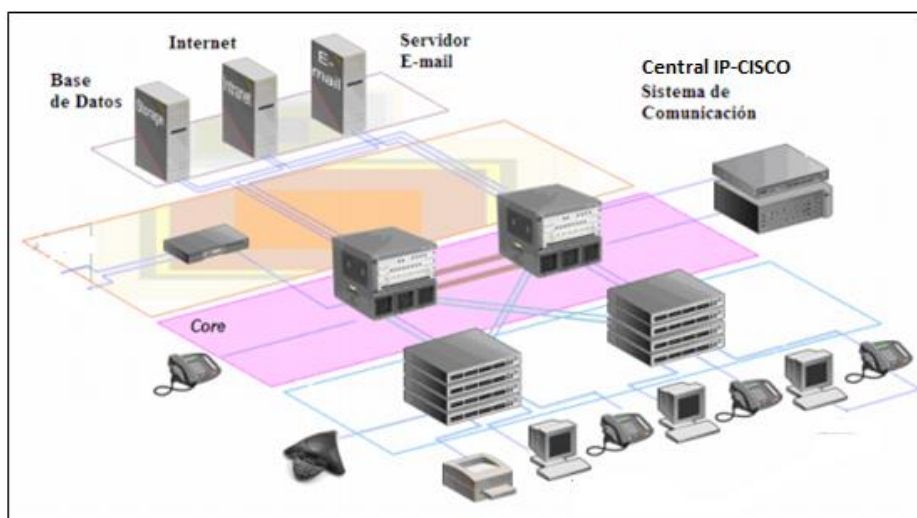


Fig. 2.6 Central IP-CISCO manejo de voz de manera convergente en la red UDLA

La universidad cuenta con una central IP de voz, y un Call Manager para generar las extensiones necesarias. Cuenta con 9 troncales para salida a la PSNT (Red Telefónica Pública Conmutada). Puede trabajar con:

- Teléfonos fijos
- Teléfonos inalámbricos
- Softphones en la PC o laptop de un usuario específico

Además cuenta con 5 líneas directas para el rector, y varios trabajadores del cuerpo administrativo que necesitan una troncal única por sus labores institucionales.

2.2.1.3 Sistemas Operativos que maneja la red UDLA

Los sistemas operativos configurados y en ejecución en la red de la UDLA se resumen en la siguiente tabla.

SISTEMAS OPERATIVOS Y APLICACIONES RED UDLA	SISTEMA OPERATIVO	APLICACIÓN
	Windows Server 2003 Windows Server 2008 Windows Server 2012	Actualizaciones de software Control de dominio (DHCP, DNS, Antivirus, SNMP, SMB, SMTP, POP3, Active Directory).
	Red Hat Moodle Oracle-Linux	Apoyo Virtual Aulas virtuales Exámenes virtuales Base de datos Firewall Control de contenido Proxy
	Vm-Ware-Hipervisor	Virtualización de host en aulas y en laboratorios
	Centos Apache Oracle-Linux	Correo electrónico Institucional Cuenta Udlanet (correo con cuenta en Google) Base de datos
	MAC-Server	Aplicaciones de diseño en Pc's y laptop MAC

Tabla 2.5 Sistemas operativos funcionales de la UDLA

2.2.2 Descripción de tráfico actual de la red UDLA

Para la transferencia continua de información el modelo de red que utiliza la UDLA es TCP/IP, el cual cuenta con protocolos por cada una de sus capas, y son éstos quienes ayudan en el manejo, administración y transporte de la información. Cada aplicación que se ejecuta en la red universitaria utiliza varios de los protocolos para conseguir su objetivo. Dentro de un análisis realizado en la red de la universidad, durante el mes de más utilización de la misma, dividido en intervalos de 60 minutos, 24 horas y 30 días, se pudo establecer las horas de más alto tráfico cruzado a través de la red de la UDLA, la hora en la que la red de la universidad genera la mayor cantidad de tráfico es: de 10 a 11 en la mañana y de 6 a 7 en la tarde.

Este análisis fue ejecutado por el software CACTI, con ayuda del protocolo SNMP que será descrito más adelante, este programa permite generar gráficos indicativos del funcionamiento de la red, el tráfico LAN y de Internet transportado por en la red monitoreada.

Además, con ayuda del administrador de la red UDLA y utilizando el software *Wireshark* se realizó un monitoreo de la red, del análisis se puede observar que los protocolos más utilizados por cada capa del modelo TCP/IP, son los siguientes:

2.2.2.1 Capa Aplicación

Dentro de la capa aplicación los protocolos utilizados por la red universitaria son los siguientes:

- **DNS Servicio de dominio de nombres.** Este protocolo facilita la búsqueda de un determinado servidor convirtiendo el formato numérico de identificación (dirección IP) a un nombre fácil de recordar.

- **HTTP Protocolo de Transferencia de hipertexto.** Este protocolo de solicitud/respuesta es utilizado por un explorador WEB (Mozilla Firefox, Internet Explorer, etc).
- **SMTP Protocolo simple de transferencias de correo.** Es utilizado por los clientes de correo electrónico y por los servidores para enviar y transferir correos electrónicos.
- **POP Protocolo de oficina de correo.** Es utilizado por los servidores para la entrega final de los correos electrónicos.
- **FTP Protocolo de transferencia de archivos.** Es utilizado por los clientes para realizar cargas y descargas de archivos que se encuentran en un servidor FTP, la carga o *upload* se utiliza del cliente al servidor y la descarga o *download* es utilizada desde el servidor al cliente.
- **DHCP Protocolo de configuración dinámica de host.** Ofrece de manera dinámica la configuración de uno o varios host dentro de una red, éste configura la dirección IP, Máscara de subred, puerta de enlace predeterminado y servidor DNS.
- **SMB Bloque de mensajes de servidor.** Es un Protocolo cliente servidor que se utiliza para compartir archivos y definir la estructura de recursos compartidos como una impresora de red y utilizarla como si fuera un recurso local.
- **Telnet Terminal virtual.** Este protocolo es útil para realizar una conexión remota con cualquier dispositivo de la red, aunque utiliza una contraseña para el acceso es uno de los protocolos menos seguros que existen, ya que los datos al viajar por la red van en texto plano y son susceptibles de escucha.
- **RDP Protocolo de escritorio remoto.** Éste es un protocolo propietario de Microsoft, el cual se utiliza para el control remoto de una máquina dentro de la red de datos.
- **SAP Protocolo de aviso de sesión.** Éste es utilizado para indicar que los recursos como servicios y aplicaciones están disponibles en la red de datos.

- **SNMP Protocolo de administración de red.** Es un protocolo utilizado para el monitoreo de la red, con ayuda de éste los programas de monitoreo corrigen a tiempo errores en la red logrando con esto garantizar su eficiencia, eficacia y operatividad.
- **RTP Protocolo de transporte en tiempo real.** Es un protocolo que transmite información por ejemplo de audio y vídeo en tiempo real, es útil para las comunicaciones de voz y videoconferencia.

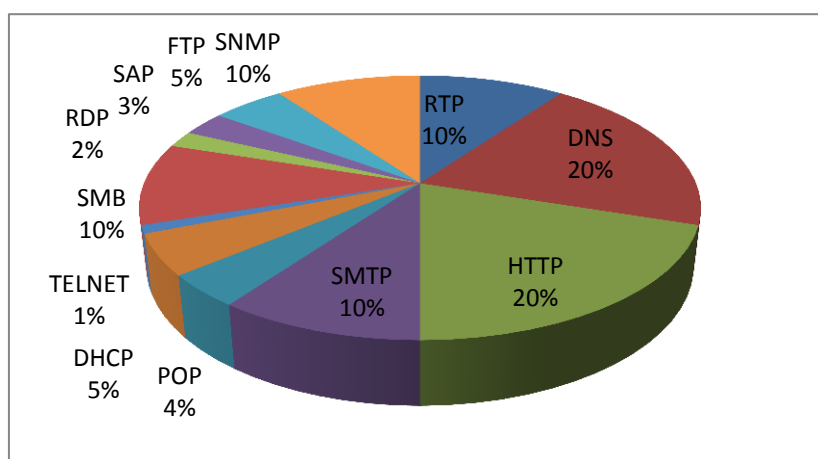


Fig. 2.7 Porcentaje de usos de protocolos de capa aplicación.

2.2.2.2 Capa transporte

Dentro de la capa transporte los protocolos utilizados por la red universitaria son los siguientes:

- **TCP Protocolo de control de transmisión.** Es un protocolo que utiliza la conmutación de circuitos, la cual consiste en crear un camino único entre origen y destino para la transferencia de la información, una vez concluida se procede a cerrar el camino, con esto se logra una entrega de la información libre de errores.
- **UDP Protocolo de datagrama de usuario.** Este es un protocolo que utiliza la conmutación de paquetes para la entrega de la información, esto consiste en segmentar la información, etiquetarla y enviarla a través de la red de datos. Es un protocolo que no garantiza la entrega formal de la información.

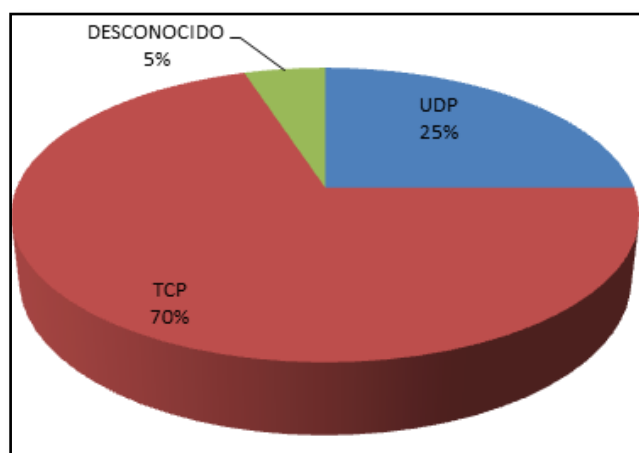


Fig. 2.8 Porcentaje de uso de los protocolos de capa transporte

2.2.2.3 Capa de red

Los protocolos de capa de red actualmente utilizados por la red universitaria son:

- **IP Protocolo de Internet.** El protocolo IP es el protocolo más comúnmente usado en capa de red o Internet para una comunicación extremo a extremo, es no orientado a la conexión por lo que transmite la información conmutada por paquetes a través de la red de datos.
- **ICMP Protocolo de mensajes de control de internet.** Es uno de los protocolos más conocidos, el famoso comando *ping* utiliza este protocolo para notificación de errores en la comunicación.
- **RIP Protocolo de información de enrutamiento.** Es uno de los protocolos de enrutamiento vector distancia dinámicos que utilizan los dispositivos de capa 3 para elegir la mejor ruta de destino.
- **OSPF Protocolo de enrutamiento dinámico (estado de enlace).** Es el protocolo de enrutamiento dinámico, OSPF (El camino más corto primero), es el más utilizado por las redes de datos, ya que funciona con VLSM-CDIR (subredes y redes sin clase que utilizan máscara variable), además es un protocolo estado de enlace, por lo

que no utiliza recursos del equipo para realizar el enrutamiento de datos.

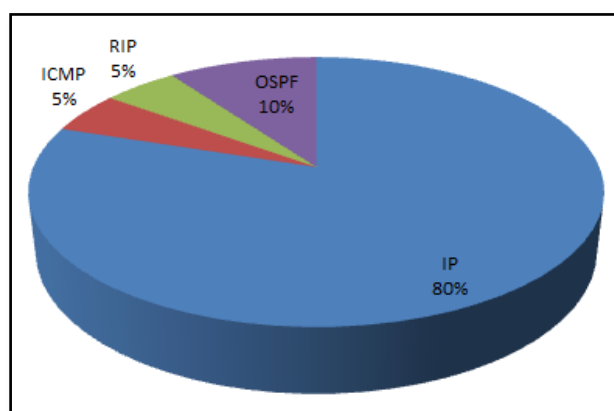


Fig. 2.9 Porcentaje de usos de los protocolos de capa Internet.

2.2.2.4 Capa de acceso a la red - Capa física

El protocolo más utilizado por la red universitaria en la capa de acceso a la red es:

- **Ethernet.** Es una tecnología de conexión que se utiliza con mayor frecuencia en la actualidad, tiene velocidades de transmisión de 10, 10, 1000 y 10.000 Mbps. Utiliza la tecnología CSMA/CD que es una técnica de acceso al medio con escucha de portadora y detección de colisión.

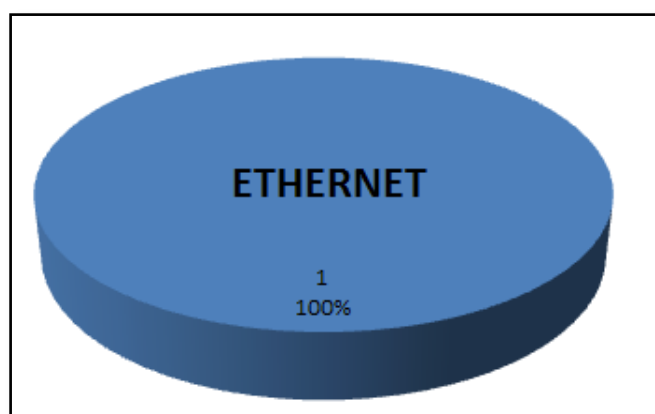


Fig. 2.10 Porcentaje de uso de aplicaciones en la capa Acceso al medio.

Cada una de las gráficas presentadas anteriormente corresponden al porcentaje de utilización de los protocolos de red definidos en el monitoreo antes descrito, se capturó una gran cantidad de paquetes con la ayuda del software *Wireshark*, y con la ayuda de Microsoft Excel se realizaron las gráficas con la cantidad total de información obtenida de cada uno de los protocolos.

A continuación, se muestran los siguientes gráficos, los cuales evidencian el tráfico cursado entre los diferentes campus en la red actual de la UDLA. Dentro de éstos se incluye: Acceso a BDD, acceso a aplicaciones, correo institucional, plataforma Moodle de apoyo virtual, así como el acceso a Internet por parte de la red administrativa, docentes y estudiantes.

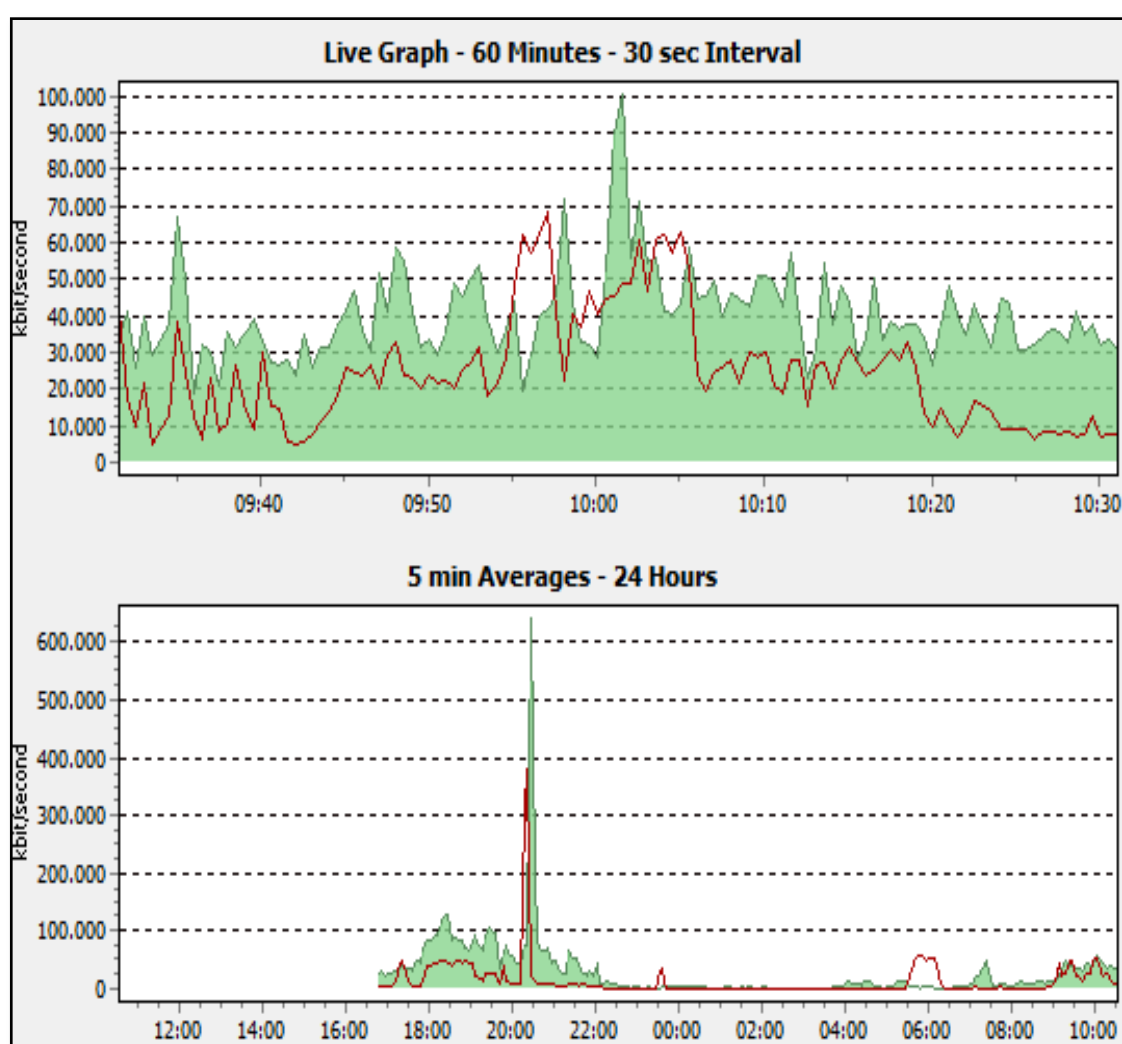


Fig. 2.11 Tráfico LAN entre la sede Granados y la sede Query

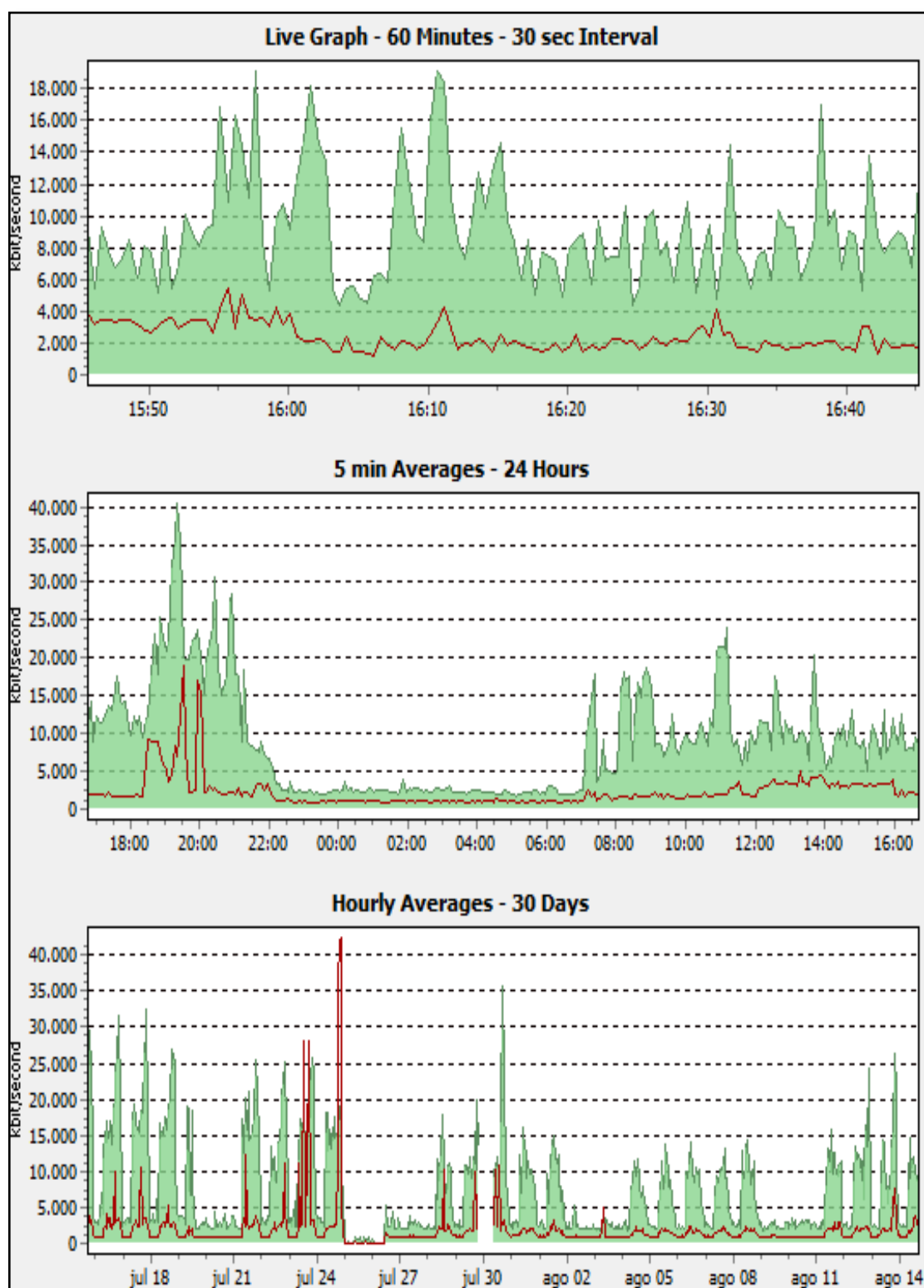


Fig. 2.12 Tráfico LAN entre Sede Granados y Sede Colón

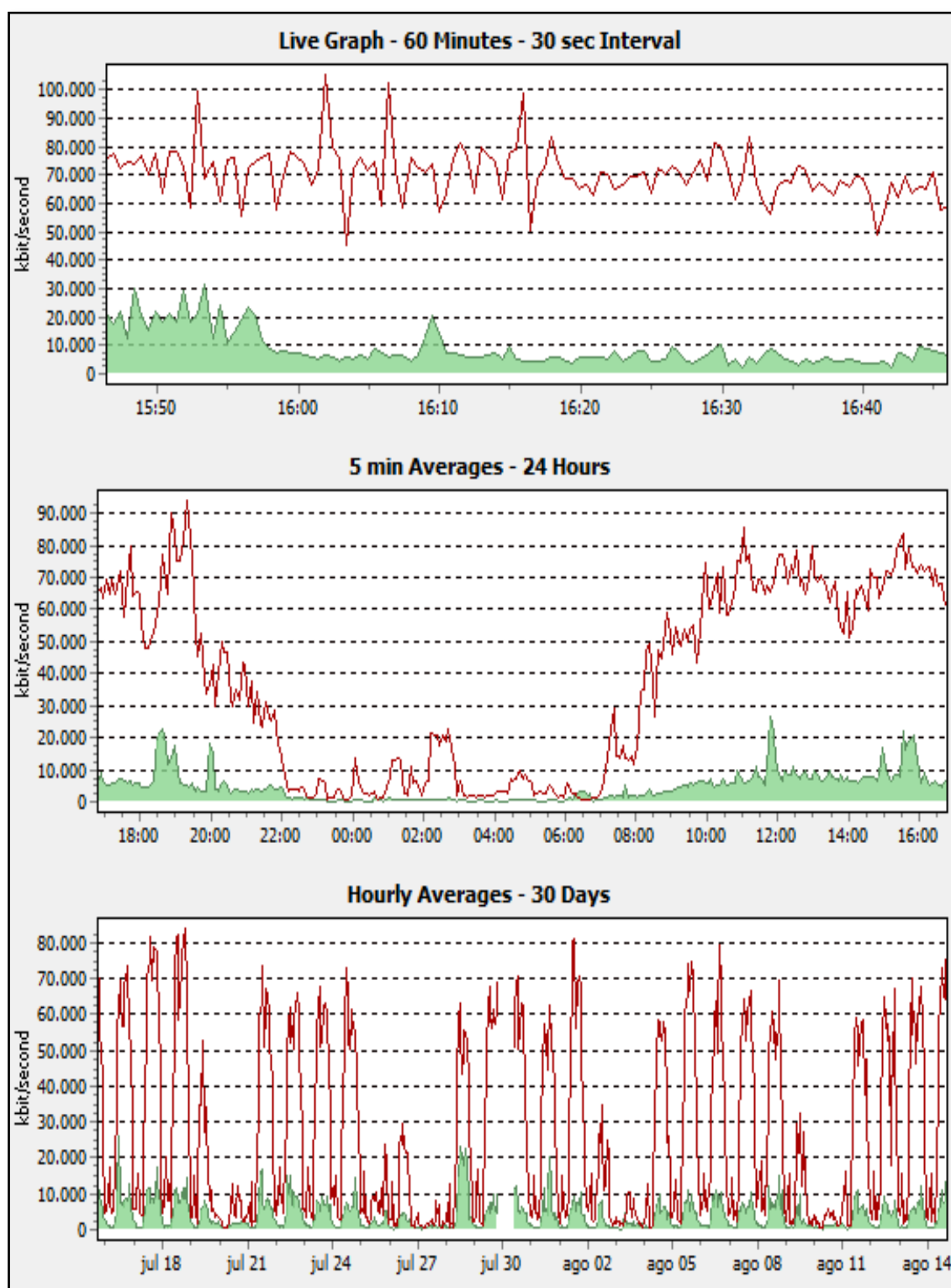


Fig. 2.13 Tráfico Internet red de estudiantes

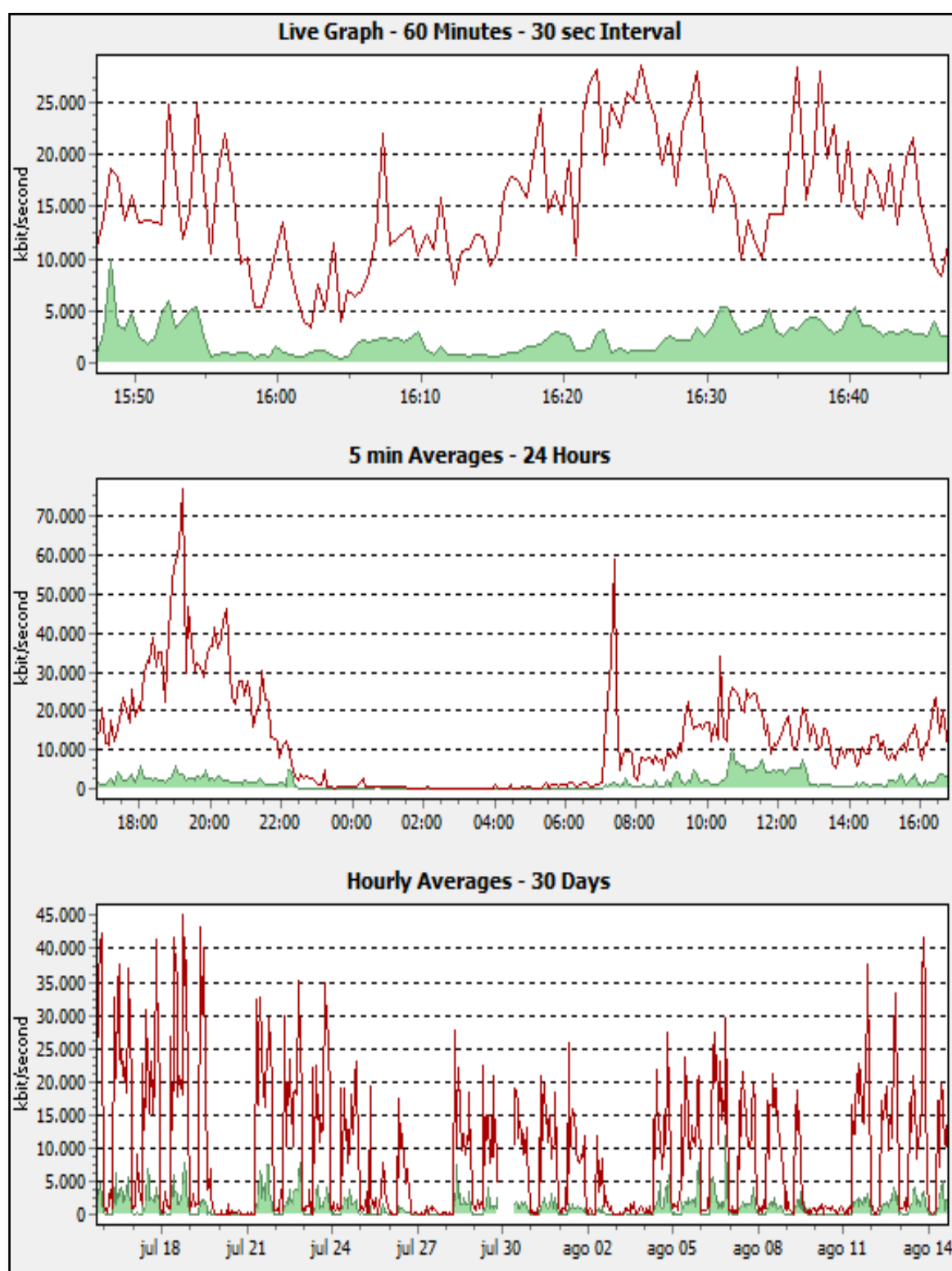


Fig. 2.14 Tráfico Internet red administrativos

Según el análisis de los gráficos anteriormente mostrados, se puede establecer las necesidades actuales de conexión entre las distintas sedes ya conocidas como son la Sede Granados, Query y Colón.

2.2.3 Análisis de la capacidad actual de la red UDLA

Para realizar este análisis es importante identificar dos tipo de usuarios en la red de la ULDA, los cuales son: usuarios administrativos, los cuales identifican a: Rector, vicerrectores, asesores, directores generales, decanos, directores de carrera, directores de departamento, coordinadores de carrera, auxiliares de laboratorio, analistas en diferentes departamentos, personal de secretaría académica, sistemas, infraestructura, recursos humanos, administrativos, financieros, marketing y admisiones, docente de apoyo académico y docente curricular. El otro tipo de usuario es el estudiante.

El enlace contratado a la empresa Telefónica-Movistar para la interconexión entre la sede Granados y la sede Colón es de 40 Mbps, y para el enlace entre la sede Granados y la sede Query, es de 2 Gbps.

Al observar el tráfico capturado con la ayuda del software CACTI de las figuras: 2.11 – 2.14 se puede describir el uso de los enlaces LAN y de acceso a internet por parte de los diferentes tipos de usuarios.

2.2.3.1 Enlace LAN

En el enlace de datos entre la sede Granados y Query existe solo un pico de casi 600 Mbps el cual se da en un momento del día sin repetición, por lo general el tráfico promedio cursado está en 100 Mbps.

En el enlace de datos entre la sede Granados y la sede Colón existe un pico alrededor de 40 Mbps, y por lo general se mantiene entre 20 y 25 Mbps.

Estas mediciones en los dos enlaces corresponden al tráfico de datos tanto de personal administrativo como estudiantes, esto debido a que la red LAN no está segmentada físicamente, pero si lo está por autenticación de usuario.

Las mediciones que analizamos en las gráficas anteriores corresponden a todo el acceso LAN de la Universidad de las Américas las cuales incluyen, VoIP, acceso a base de datos, plataforma Moodle (Aulas virtuales), Correo electrónico (administrativos y estudiantes), Plataforma Banner (Administración académica), Aplicaciones de RRHH, Administrativos y financieros.

2.2.3.2 Acceso a Internet

Se puede analizar el tráfico de Internet tanto de la red estudiantil como la administrativa, el cual tiene el pico más alto en la red de estudiantes en casi 100 Mbps, la red administrativa tiene un pico de 45 Mbps, esta demanda es satisfecha por los dos accesos contratados para brindar este servicio, 150 Mbps (telefónica-Movistar) para el acceso a estudiantes y 80 Mbps (Telconet) para el acceso administrativo.

Una vez descrito y analizado los gráficos y los eventos en ellos encontrados se pueden definir la capacidad actual máxima requerida por cada enlace la cual se detalla en la siguiente tabla.

DETALLE	CAPACIDAD TOTAL
Datos LAN (Correo electrónico, BDD, Plataforma Moodle, Plataforma Banner, aplicaciones para RRHH, administrativos y financieros)	600 Mbps
VoIP	
Internet	145 Mbps
TOTAL ENLACE	745 Mbps

Tabla 2.6 Capacidad actual enlace sede Granados – sede Query personal administrativo y estudiantes

DETALLE	CAPACIDAD TOTAL
Datos LAN (Correo electrónico, BDD, Plataforma Moodle, Plataforma Banner, aplicaciones de RRHH, administrativos y financieros)	40 Mbps
VoIP	
Internet	145 Mbps
TOTAL ENLACE	185 Mbps

Tabla 2.7 Capacidad actual enlace sede Granados – sede Colón personal administrativo y estudiantes

2.2.4 Datos estadísticos y proyección a cinco años de usuarios de la red UDLA

En base a un análisis de los gráficos estadísticos, se puede establecer que el incremento de nuevos alumnos, personal docente y administrativo conlleva a la creación de un nuevo espacio físico. Las figs. 2.8, 2.9 y 2.10 muestran el crecimiento en la cantidad de alumnos, personal docente y administrativo que la Universidad de las Américas ha experimentado desde el año 2009, con una proyección al año 2020.

Esta proyección fue realizada utilizando los datos históricos de nuevos alumnos, personal docente y administrativo desde el año 2009 hasta el año 2014. Estos datos fueron proporcionados por el departamento de recursos humanos de la UDLA.

Para encontrar una proyección cercana de alumnos, personal docente y administrativo se halló la ecuación de la recta de crecimiento, como ejemplo para el número de alumnos se utilizó el año 2009 con 5.241 alumnos y el año 2014 con 13.696 alumnos, la proyección al 2020 se la puede calcular con la ecuación encontrada.

Estos datos están plasmados en los siguientes gráficos.

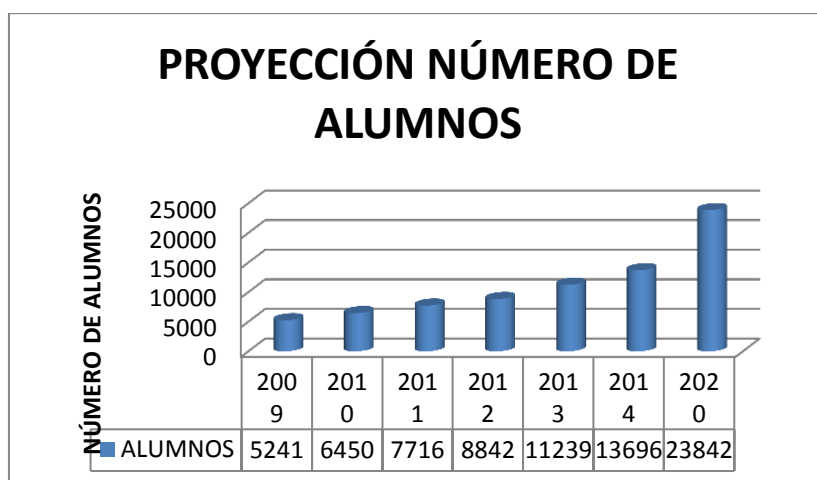


Tabla 2.8 Número de alumnos inscritos en la UDLA desde el 2009 y proyección al 2020

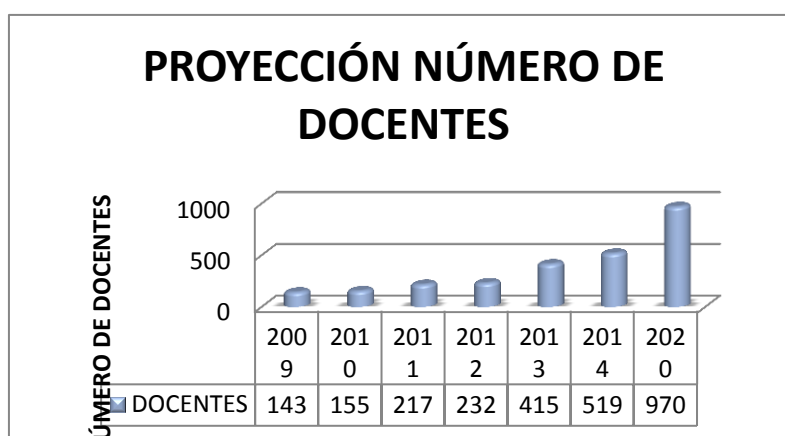


Tabla 2.9 Número de docentes a tiempo completo UDLA desde el 2009 y proyección al 2020

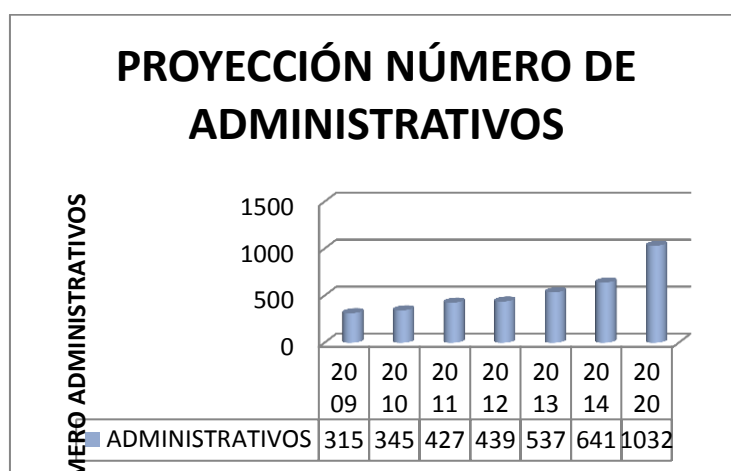


Tabla 2.10 Número de personal administrativo UDLA desde el 2009 y proyección al 2020

Analizando los gráficos mostrados anteriormente, se puede observar que desde el año 2009, la Universidad de las Américas ha crecido en número de estudiantes, personal docente y administrativo y según esta proyección, para el año 2020 el incremento continúa, por lo que, la creación de la nueva sede Ecopark es un proyecto que busca abastecer la demanda actual y futura de estudiantes para las distintas carreras que la Universidad ofrece.

2.2.5 Dimensionamiento de aplicaciones de la red UDLA

Los servicios y aplicaciones que la red de la UDLA ofrece son utilizados por los dos tipos de usuarios descritos anteriormente administrativos y estudiantes.

Los servicios ofrecen a los usuarios facilidad para acceder a un programa o aplicación, esto se lo realiza mediante un protocolo de red. Los protocolos utilizados por la red UDLA fueron descritos anteriormente y las aplicaciones soportadas por dicha red se describen a continuación.

2.2.5.1 Aplicaciones personal administrativo y estudiantes

- **Voz (Administrativo)** ^[HH] En lo referente a transmisión de voz sobre el protocolo IP, es importante conocer la capacidad necesaria para brindar el servicio sin ningún tipo de problemas. La cabecera de la trama para transmisión de VoIP debido a la encapsulación consta de: 20 bytes de la cabecera IP, 8 bytes de la cabecera UDP y 12 bytes de la cabecera RTP, 1 byte de indicador de fin de tramas, 18 bytes de encabezados de Ethernet.

Los codificadores de voz (Vocoder), realizan la digitalización de la voz para poder transmitirla por una canal de comunicaciones utilizando un protocolo, en la red UDLA se utiliza el protocolo IP. Ejemplos de éstos se detallan en la fig. 2.15, en ésta se describe la capacidad necesaria para cada uno de ellos en una llamada, teniendo en cuenta los bytes que se utilizan en la encapsulación de la voz.

La UDLA trabaja con un vocoder G.711 que utiliza PCM (*Pulse Code Modulation*) para la conversión de analógica a digital, tanto en la transmisión como en la recepción. Como se puede observar en la tabla 2.15 la capacidad requerida es de 87,2 Kbps al trabajar con Ethernet.

Información de códec				Cálculos de ancho de banda					
Velocidad de bits y códec (kbps)	Ejemplo de tamaño del códec (bytes)	Ejemplo de intervalo del códec (ms)	Mean Opinion Score (MOS)	Tamaño de la carga útil de voz (bytes)	Tamaño de la carga útil de voz (ms)	Paquetes por segundo (PPS)	Ancho de banda MP o FRF.12 (kbps)	Ancho de banda c/cRTP MP o FRF.12 (kbps)	Ancho de banda Ethernet (kbps)
G.711 (64 kbps)	80 bytes	10 ms	4,1	160 bytes	20 ms	50	82,8 kbps	67,6 kbps	87,2 kbps
G.729 (8 kbps)	10 bytes	10 ms	3,92	20 bytes	20 ms	50	26,8 kbps	11,6 kbps	31,2 kbps
G.723.1 (6.3 kbps)	24 bytes	30 ms	3,9	24 bytes	30 ms	34	18,9 kbps	8,8 kbps	21,9 kbps
G.723.1 (5.3 kbps)	20 bytes	30 ms	3,8	20 bytes	30 ms	34	17,9 kbps	7,7 kbps	20,8 kbps

Tabla 2.11 Recomendaciones para el servicio de VoIP en redes de datos ^[19]

- **Internet (Administrativos y estudiantes).** Para el acceso a Internet se utilizó el software Wireshark y CACTI para identificar los protocolos que tienen salida hacia el ISP y de esta manera tener una idea más específica de la capacidad de uso de Internet, se clasificó este análisis para administrativos que tienen los mismos privilegios y para estudiantes.

Como se puede observar en el diseño de Aguas Luis y Ortega Hernán (2001; p106). Se puede dimensionar la capacidad necesaria para acceder a Internet con las mediciones de tráfico mostradas en la fig. 2.13 y 2.14 de la siguiente manera: “Se toma como base el valor del promedio y se le agrega el 20% de la diferencia entre éste y el valor pico. Al valor obtenido se le redondea al múltiplo de 64 inmediatamente superior.” [FF]

Conexión Internet	Promedio	Pico	Capacidad requerida
Red Administrativos/docentes	25 Mbps	70 Mbps	32 Mbps

Tabla 2.12 Acceso a Internet personal administrativo

Conexión Internet	Promedio	Pico	Capacidad requerida
Red Estudiantes	55 Mbps	100 Mbps	64 Mbps

Tabla 2.13 Acceso a Internet estudiantes

- **Datos LAN (Administrativos y estudiantes).** Para dimensionar la capacidad de datos LAN se utiliza el mismo concepto anterior.

Conexión Internet	Promedio	Pico	Capacidad requerida
Red Administrativos/docentes	100 Mbps	600 Mbps	256 Mbps

Tabla 2.14 Acceso LAN personal administrativo/docente y estudiantes enlace Granados – Query

Conexión Internet	Promedio	Pico	Capacidad requerida
Red Administrativos/docentes	20 Mbps	40 Mbps	32 Mbps

Tabla 2.15 Acceso LAN personal administrativo/docente y estudiantes enlace Granados – Colón

2.2.5.2 Aplicaciones futuras red UDLA

Todas las aplicaciones y protocolos definidos anteriormente pueden ser soportados por una infraestructura de red utilizando como medio de transmisión la fibra óptica, de existir una aplicación futura para la red UDLA y dadas las características de transmisión y ancho de banda que la fibra óptica ofrece, ésta tiene la capacidad de abastecer dicha demanda.

El cableado estructurado y las características de los equipos de infraestructura definidas anteriormente son adecuados para trabajar con velocidades en el

orden de los Gbps, por lo que no existe una limitante en ninguno de los dos casos para un eventual crecimiento de aplicaciones y servicios en la red de la UDLA. Dado el caso de que se necesite mayor capacidad en los enlaces que la establecida en el diseño o su proyección, es posible, con los equipos adecuados implantar un sistema que utilice multiplexación de información, con sistemas DWM y CWDM, de esa manera se puede potenciar aún más la capacidad de la fibra óptica.

Una de las aplicaciones necesarias a futuro en la red universitaria es la videoconferencia, a continuación su dimensionamiento.

Videoconferencia [LL] Para poder manejar vídeo a través del protocolo IP, es importante tener en cuenta las características necesarias para que la calidad del vídeo sea aceptable y que éste se reproduzca en forma continua. Tanto el audio como el vídeo necesitan una gran capacidad para poder reproducirse en tiempo real, por lo que es necesario reservar una capacidad adecuada para proporcionar este servicio.

Los elementos necesarios para una videoconferencia son: medio de transmisión (fibra óptica), *Codec* (codificador-decodificador), sala de videoconferencia (audio, video y control). Para implementar el servicio de videoconferencia la Universidad debe adquirir el *Codec*, ya que los demás elementos los tiene dentro de su infraestructura física.

El *Codec* transforma el audio y vídeo de análogo a digital y viceversa en los extremos de la red para transmitirlos. Para que estas señales puedan transmitirse deben hablar un mismo lenguaje, por lo que necesitan un protocolo estandarizado que pueda ser implementado en la red universitaria. Estos estándares de videoconferencias están referenciados en las recomendaciones realizadas por la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector Normalización de las telecomunicaciones), y están descritas en la tabla 2.16, una de éstas es la recomendación H.320, que funciona sobre canales de la Red de Servicios Integrados de banda estrecha (N-ISDN), los *codec* de la recomendación H.320 y su similar H.323 ofrecen una velocidad de transmisión

que va desde los 128 Kbps a 2Mbps, y en la recomendación establece que la mínima calidad de vídeo debería transmitirse a 128 Kbps, si colocamos a 256 Kbps la calidad aumenta, con 384Kbps se tiene mucha mejor calidad, pero, a 768 Kbps la calidad es excelente y se tiene un vídeo de alta resolución, aunque se puede utilizar los 2Mbps para lograr una excelente calidad, esto conlleva a utilizar más ancho de banda y capacidad, si se observa la fig. 2.15, se puede trabajar con 384 Kbps como capacidad necesaria.

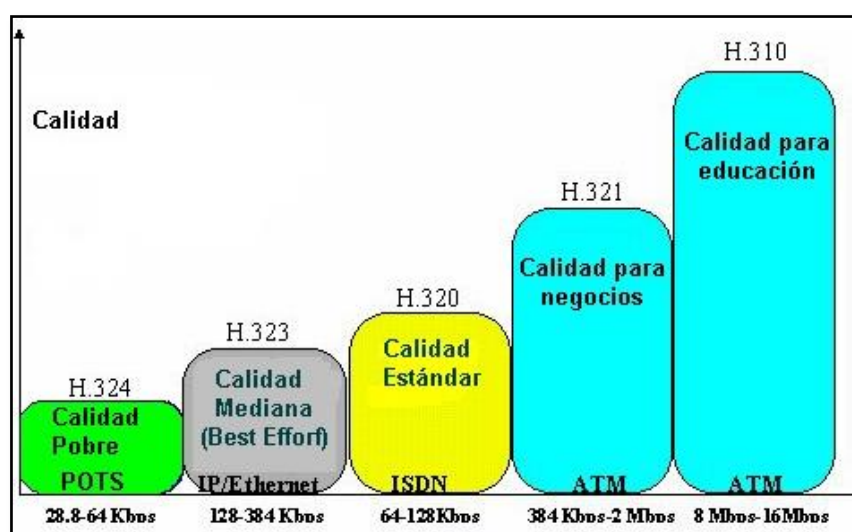


Fig. 2.15 Capacidad mínima y máxima requerida por la recomendación H.323*

	H.320	H.321	H.322	H.323	H.324
Tipo Red	RDSI-BE	RDSI-BA ATM	LAN con QoS	LAN sin QoS	RTB
Codificación sonido	G.711 G.722 G.728	G.711 G.722 G.728 ISO/IEC 11172-3	G.711 G.722 G.728	G.711 G.722 G.723-1 G.728	G.723-1
Codificación vídeo	H.261	H.261 H.262	H.261	H.261 H.263	H.261 H.263
Datos	T.120	T.120	T.120	T.120	T.120
Control de sistema	H.242	H.242	H.242	H.242	H.242

Tabla 2.16 Recomendaciones UIT para videoconferencia ^[L1]

* Página de internet: <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No3/Araujo.html>
 Recomendación H.323 UIT: <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.320/esc>

Recomendación H.323. Ésta define la videoconferencia sobre el protocolo IP para un ambiente interno de red LAN y WAN o un ambiente externo utilizando el Internet. Maneja tecnología Ethernet, FastEthernet y FDDI y trabaja en redes que no necesariamente tengan una configuración de calidad de servicio, además funciona con la recomendación del *códec* que la UDLA utiliza para VoIP que es el G.711, por lo que esta recomendación es la más adecuada para utilizarla en un sistema de videoconferencia para el diseño propuesto.

Una vez analizado cada uno de los enlaces y definir el tráfico cursado por la red LAN en lo correspondiente a datos e Internet, se tiene la capacidad de realizar una estimación muy cercana del tráfico que se espera tener en la nueva sede, la más grande de todas, denominada Ecopark. Esto se lo analizará en el siguiente capítulo de diseño de la red convergente.

Para finalizar en análisis de la red UDLA, cabe señalar que se realizó una inspección técnica en cada sede en la cual se evidencio los requerimientos técnicos de cada una de ellas, y se puede afirmar que todas ellas cumplen con los requisitos eléctricos, de infraestructura y equipamiento de red necesarios para implantar una solución de interconexión, utilizando como medio de transporte la fibra óptica, incluyendo un enlace de *backup* para redundancia de la red y de propiedad de la Universidad de las Américas.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED

3.1 INTRODUCCIÓN

Las redes convergentes en la actualidad son una tendencia tecnológica por la facilidad que brindan al integrar los servicios de voz, datos y vídeo en la comunicación por un mismo medio de transmisión. Este diseño de red permite a la Universidad de las Américas ser el dueño de su información manteniendo el control, gestión y administración de la misma, a través del diseño de enlaces que interconecten las sedes que actualmente existen y una nueva sede que entrará en funcionamiento a mediados del presente año, teniendo en cuenta el personal administrativo y planta de estudiantes actual y futura.

3.2 TOPOLOGÍA DE RED



Fig. 3.1 Topología física y lógica de las sedes de la Universidad de las Américas

La topología se puede apreciar en la fig. 3.1, ésta será lógica y física tipo estrella, debido a que el centro de acceso va a ser la sede Granados y de ahí se repartirán los enlaces a las demás sedes para su conexión a la red central. La topología tipo estrella proporciona una red escalable, también reduce los costos por interconexión de equipos y es la más adecuada debido a la disposición geográfica de cada una de las sedes a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito.

3.3 MEDIO DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión que se utilizará, tanto para los 3 enlaces principales que son: Granados – Query, Granados – Colón, Granados – Ecopark, como para los 2 enlaces de *backup* los cuales son: Granados – Query, Granados – Ecopark, es la fibra óptica, esto debido a su gran ancho de banda, alta velocidad de transmisión, baja atenuación y demás características descritas en el capítulo 1.

Debido a que la distancia entre estas sedes no es considerable y la infraestructura de postes de la Empresa Eléctrica Quito no está saturada de cables de cobre, coaxial y fibra óptica en estos sitios, es posible implementar enlaces principales y de respaldo utilizando la fibra óptica aérea que será soportada por dichos postes, cabe resaltar que el recorrido de postes a utilizar para realizar estos enlaces están dentro de una zona dentro del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito denominada zona B, de alta prioridad aérea, lo que quiere decir que, en esta parte de la ciudad, no se va a soterrar ningún tipo de red (telecomunicaciones o eléctrica), más bien, se va a reordenar de manera aérea todas las redes y es por esta razón que es posible realizar estos enlaces por dicha zona.

En el diseño se contempla un enlace inalámbrico que será el *backup*, del enlace: Granados – Colón, esto debido a que los posibles caminos redundantes para hacer la interconexión de respaldo de estas dos sedes están completamente saturados dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

3.4 DISPOSICIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ENLACES PARA LA UDLA

La figura 3.2, 3.3 y 3.4 presentan la disposición geográfica de las distintas sedes para el enlace principal y el enlace de *backup*, el cual es utilizado para brindar la redundancia necesaria en una red de datos.

Enlace Granados – Colón:

- **Enlace principal (verde)**
Distancia: 5.54 Km
Medio de transmisión a usar: Fibra óptica
- **Enlace de backup (rojo)**
Distancia: 4.1 km
Medio de transmisión a usar: Enlace inalámbrico

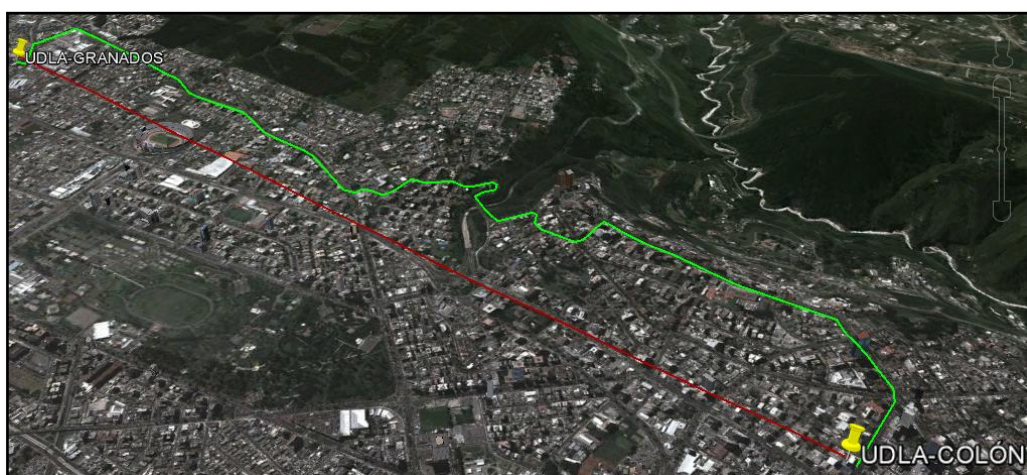


Fig. 3.2 Enlace principal y backup Sede Granados – Sede Colón

Enlace Granados – Query:

- **Enlace principal (verde)**
Distancia: 0.6 Km
Medio de transmisión a usar: Fibra óptica
- **Enlace de backup (rojo)**
Distancia: 0.48 km
Medio de transmisión a usar: Fibra óptica

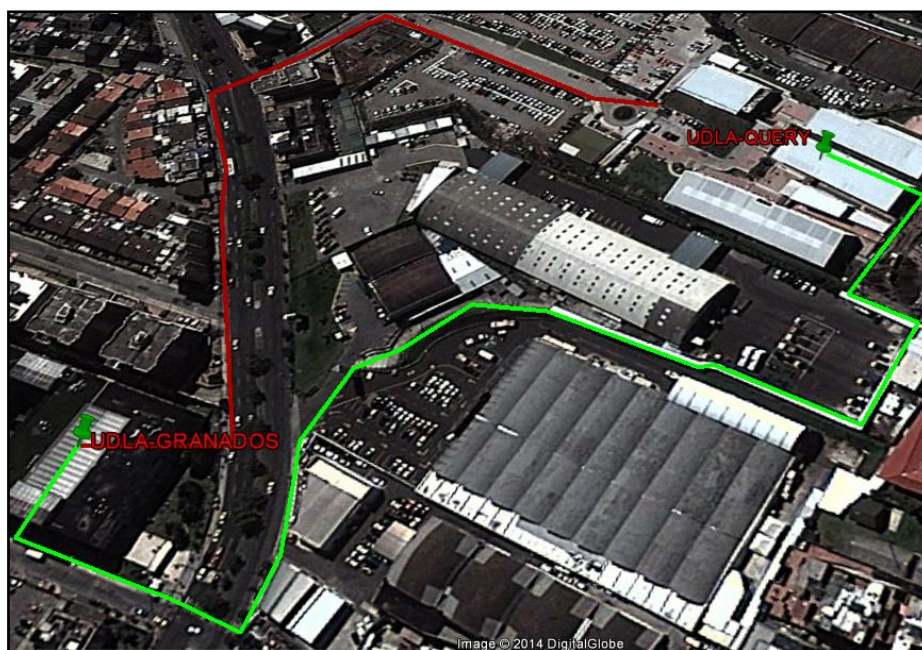


Fig. 3.3 Enlace principal y backup Sede Granados – Sede Query

Enlace Granados – Ecopark:

- **Enlace principal (verde)**
 Distancia: 1.84 Km
 Medio de transmisión a usar: Fibra óptica
- **Enlace de backup (rojo)**
 Distancia: 2.52 km
 Medio de transmisión a usar: Fibra óptica



Fig. 3.4 Enlace principal y backup Sede Granados – Sede Ecopark

3.5 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ENLACES

Como se puede apreciar en el capítulo anterior, con la ayuda del software CACTI se evidencia el flujo de datos LAN, así como el de Internet en la red UDLA. Estos valores fueron tomados del análisis en mediciones de tráfico realizadas en las horas pico de saturación en cada uno de los enlaces de la UDLA. Para el cálculo de la capacidad de la nueva sede Ecopark, serán tomados en cuenta las proyecciones de nuevos alumnos y personal administrativo también analizadas en el capítulo anterior.

El personal administrativo está referido a: Rector, vicerrectores, asesores, directores generales, decanos, directores de carrera, directores de departamento, coordinadores de carrera, auxiliares de laboratorio, analistas en diferentes departamentos, personal de secretaría académica, sistemas, infraestructura, recursos humanos, administrativos, financieros, marketing y admisiones, docente de apoyo académico y docente curricular.

El departamento de recursos humanos, de acuerdo a la infraestructura física de la Universidad, consideró para el año 2014 y principios del año 2015, una distribución del personal administrativo, docente y cuerpo estudiantil en las 3 sedes actuales de la siguiente forma:

PERSONAL	CANTIDAD AÑO 2014-2015	SEDE GRANADOS 50%	SEDE QUERY 35%	SEDE COLÓN 15%
ALUMNOS	13.696	6.848	4.794	2.054
DOCENTES	519	260	182	78
ADMINISTRATIVOS	641	321	224	96
TOTAL PERSONAL	14.856	7.428	5.200	2.228

Tabla 3.1 Personal administrativo y alumnos en cada sede de la UDLA en la actualidad

Si se analiza la proyección del capítulo anterior, se puede observar que el aumento en número de estudiantes, administrativos y docentes esperado en 5 años es considerable, es por esta razón que la sede Ecopark se está construyendo y ésta va a tener la capacidad de acoger al menos el 50% del total de los docentes, administrativos y estudiantes que la universidad pueda

contener hasta ese año de proyección realizado. Se tomó en cuenta 5 años de proyección en base a la recomendación y experiencia del departamento de admisiones de la universidad.

De acuerdo a estas proyecciones, el departamento de admisión de la universidad establece en función de los espacios físicos que la nueva sede ofrece, la distribución para la proyección al año 2020 del nuevo personal administrativo, docente y estudiantil. Ésta será de la siguiente manera.

PERSONAL	CANTIDAD AÑO 2020	SEDE GRANADOS 25%	SEDE QUERY 18%	SEDE COLÓN 7%	NUEVA SEDE ECOPARK 50%
ALUMNOS	23.842	5.961	4.292	1.669	11.921
DOCENTES	970	243	175	68	485
ADMINISTRATIVOS	1.032	258	186	72	516
TOTAL	25.844	6.461	4.652	1.809	12.922

Tabla 3.2 Personal administrativo, docentes y estudiantes UDLA para proyección año 2020

Con este análisis y los datos definidos en el capítulo anterior, se puede hacer el dimensionamiento de cada enlace entre las diferentes sedes de la universidad, tomando en cuenta la proyección realizada al año 2020. Ésta se muestra a continuación.

DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS – QUERY			
DETALLE	# CANALES	CAPACIDAD (Kbps)	CAPACIDAD TOTAL (Kbps)
DATOS LAN	1	256.000	256.000
VIDEOCONFERENCIA	3	768	2.304
VOIP	110	87,2	9.592
INTERNET ESTUDIANTES	1	64.000	64.000
INTERNET ADMINISTRATIVOS/DOCENTE	1	32.000	32.000
TOTAL			363.896

Tabla 3.3 Dimensionamiento enlace Granados – Query para año 2020

DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS – COLÓN			
DETALLE	# CANALES	CAPACIDAD (Kbps)	CAPACIDAD TOTAL (Kbps)
DATOS LAN	1	32.000	32.000
VIDEOCONFERENCIA	1	768	768
VOIP	60	87,2	5.232
INTERNET ESTUDIANTES	1	64.000	64.000
INTERNET ADMINISTRATIVOS/DOCENTE	1	32.000	32.000
TOTAL			134.000

Tabla 3.4 Dimensionamiento enlace Granados Colón para año 2020

Para la proyección de la sede Ecopark. En el aspecto de tráfico LAN se tomó como referencia el enlace LAN Granados - Query, y para el acceso a Internet se tomó como referencia el acceso total a Internet por parte del personal administrativo y alumnos. En los dos casos, la referencia fue tomada con el número actual de docentes, administrativos y estudiantes como lo indica la tabla 3.5 y 3.6.

PROYECCIÓN DE CAPACIDAD DATOS LAN SEDE ECOPARK				
DETALLE	ENLACE SEDE QUERY 2014 - 2015		ENLACE SEDE ECOPARK PROYECCIÓN 2020	
	# USUARIOS	CAPACIDAD (Kbps)	# USUARIOS	CAPACIDAD (Kbps)
DATOS LAN	5.200	256.000	12.922	636.160

Tabla 3.5 Proyección datos LAN sede Ecopark

CAPACIDAD INTERNET ECOPARK				
DETALLE	ACCESO INTERNET TOTAL USUARIOS 2014		ACCESO INTERNET SEDE ECOPARK 2020	
	# USUARIOS	CAPACIDAD (Kbps)	# USUARIOS	CAPACIDAD (Kbps)
INTERNET ALUMNOS	13.696	64.000	23.842	111.411,21
INTERNET ADMINISTRATIVOS DOCENTES	1.160	32.000	2.002	55.227,59

Tabla 3.6 Proyección acceso a Internet sede Ecopark

Para el dimensionamiento del nuevo campus, se utilizaron las proyecciones de aumento en el número de personal administrativo, docente y estudiantes. Con estos datos se puede hacer el dimensionamiento de la capacidad requerida en este enlace, la tabla 3.7 muestra el dimensionamiento.

DIMENSIONAMIENTO ENLACE GRANADOS – ECOPARK			
DETALLE	# CANALES	CAPACIDAD (Kbps)	CAPACIDAD TOTAL (Kbps)
DATOS LAN	1	63.6160	63.6160
VIDEOCONFERENCIA	5	768	3840
VOIP	350	87,2	30.520
INTERNET ESTUDIANTES	1	111.411,21	111.411,21
INTERNET ADMINISTRATIVOS/DOCENTE	1	55.227,59	55.227,5862
TOTAL			837.158,80

Tabla 3.7 Dimensionamiento enlace Grandos – Ecopark para año 2020

3.6 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA [GG]

3.6.1 Parámetros básicos de enlaces

Para el diseño de un enlace con fibra óptica, las características más importantes que deben detallarse son: la velocidad de transmisión en la fibra óptica y la longitud del enlace. Con esta información se puede elegir el tipo de fibra óptica, longitud de onda de trabajo y fuentes ópticas de transmisión y recepción necesarias para el diseño. Las capacidades necesarias para cada enlace están descritas en la tabla 3.8

ENLACE	CAPACIDAD (Mbps)
GRANADOS – ECOPARK	837,16
GRANADOS – QUERY	363,90
GRANADOS – COLÓN	134,00

Tabla 3.8 Capacidades requeridas para los enlaces de cada sede

3.6.2 Ubicación geográfica de las sedes

La fig. 3.5 muestra las sedes de la universidad ubicadas en la ciudad de Quito DM. Con la ayuda del software Google Earth se puede obtener la distancia que las separa, tanto para los enlaces principales como los de respaldo, esto se encuentra descrito en la tabla 3.9 y hace referencia a los datos calculados presentados en las figuras: 3.2, 3.3, y 3.4.

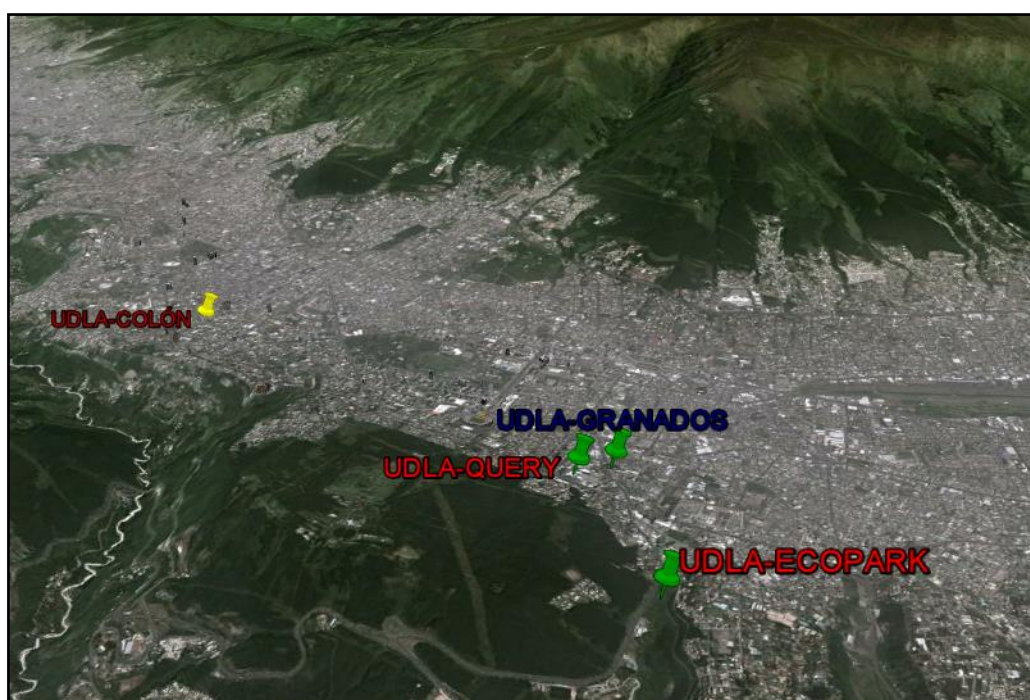


Fig. 3.5 Ubicación geográfica de las sedes en el Distrito Metropolitano de Quito

3.6.3 Distancias entre enlaces de sedes UDLA

ENLACE	ENLACE PRINCIPAL	ENLACE DE BACKUP
GRANADOS – COLÓN	Distancia: 5.54 Km Medio de transmisión: Fibra óptica	Distancia: 4.1 km Medio de transmisión: Enlace inalámbrico
GRANADOS – QUERY	Distancia: 0.6 Km Medio de transmisión: Fibra óptica	Distancia: 0.48 km Medio de transmisión: Fibra óptica

GRANADOS – ECOPARK	Distancia: 1.84 Km Medio de transmisión: Fibra óptica	Distancia: 2.52 km Medio de transmisión: Fibra óptica
--------------------	---	---

Tabla 3.9 Distancia de enlace principal y backup entre sedes

La distancia entre sedes describe el camino a recorrer en los enlaces que utilicen fibra óptica, tanto principales como de respaldo y sirve para determinar la cantidad de fibra óptica necesaria para el diseño propuesto. En el caso del enlace inalámbrico, este dato sirve para el cálculo de la pérdida de propagación de la onda electromagnética, la cual se define más adelante.

3.6.4 Selección de tipo de fibra óptica y cable óptico

Para realizar el tendido de fibra óptica se puede utilizar canales subterráneos o micro-zanjados, para los cuales deberíamos contar con el permiso municipal de ocupación del suelo del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) para realizar zanjas a lo largo de todo el recorrido. Otra forma, es el tendido aéreo, para lo cual se puede arrendar los postes de la EEQ para el tendido de la fibra a través de su infraestructura. El precio anual de poste arrendado es de \$ 1.30, lo que resulta en un rubro muy económico y estará contemplado en el capítulo de costos.

El recorrido que la fibra óptica seguirá a través de la infraestructura de postes de la Empresa Eléctrica es muy pequeño y no existe problema de saturación de cables de cobre, coaxial y fibra óptica en estos postes, el único inconveniente que se tiene es el enlace de *backup* con la sede Colón, por lo que se resolvió el problema utilizando un enlace inalámbrico como respaldo en la comunicación.

Se debe señalar, que para establecer el recorrido se utilizó el software GIS que es Sistema de Información Geo-referenciada de infraestructura de postes, proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito, en el cual se puede observar los sitios que serán soterrados en años posteriores y los sitios por los cuales el tendido aéreo aún es posible. Estos sitios se conocen como zonas y fueron establecidas por el Municipio de Quito, la zona A, es de alta prioridad

subterránea, por este sitio es imposible pasar cables aéreos, la zona B, es de alta prioridad aérea, por esta zona dependiendo de la saturación de cables en los postes se puede, con permisos municipales implementar tendido aéreo.

Se tomó el tendido aéreo de fibra óptica para el diseño ya que existen muchas ventajas al compararlo con un canal subterráneo, éstas son:

- Acceso sin límites al mantenimiento, revisión y reparación de la fibra.
- Fácil visualización de daños físicos en la fibra para reparación.
- Instalación relativamente sencilla y menos costosa.
- Requiere menor tiempo para la instalación.
- Instalación de la fibra cerca de líneas de media y baja tensión sin inconvenientes gracias a que la fibra óptica no es afectada por la interferencia electromagnética.

En el anexo A se detallan las rutas establecidas utilizando el software de la Empresa Eléctrica Quito, denominado GIS Sistema de información geo-referenciada de postes.

En el mercado existen tres tipos de cables adecuados para tendidos aéreos de fibra óptica, éstos son: OPWG, ADSS y figura 8, éstos fueron detallados en el capítulo 1.

3.6.4.1 Comparación entre cables ópticos considerados

Se puede realizar un análisis comparativo para escoger la mejor opción en el diseño. Este análisis se lo puede observar en la siguiente tabla comparativa.

CARACTERÍSTICA	FIGURA 8	ADSS	OPWG
Confiability	ALTA	ALTA	ALTA
Inmunidad a caída de rayos	TOTAL	TOTAL	NINGUNA
Instalación	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE
Mantenimiento	FÁCIL	FÁCIL	COMPLEJO

Costo cable	MEDIO	BAJO	ALTO
Costo instalación	BAJO	BAJO	ALTO
Acceso a hilos de fibra óptica	FÁCIL	FÁCIL	DIFÍCIL

Tabla 3.10 Tabla comparativa de cables de fibra óptica para tendido aéreo

Revisando la tabla anterior se puede observar que la mejor opción es el cable ADSS, por lo tanto, se lo utilizará en el diseño propuesto.

Las distancias a considerar se encuentran descritas en la tabla 3.9, el recorrido detallado se encuentra en el anexo A, ya que el cable va a ser soportado por la infraestructura de postes de la Empresa Eléctrica Quito, la cual tiene el vano o distancia entre postes promedio de 40 metros, dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

Para el tendido aéreo además del cable, es necesario contar con herrajes de suspensión y de retención dependiendo del tramo de tendido de fibra óptica. Se necesitan herrajes de retención cuando el tramo presenta curvas o irregularidades, y herrajes de suspensión cuando el tramo es recto, estos herrajes están descritos en el capítulo 1.

Si se observa la tabla 3.9, se puede apreciar que dos enlaces principales y dos de respaldo están separados menos de 1000 metros, por lo que estos tramos se podría cubrir con una fibra óptica multimodo, sin embargo la Universidad de las Américas es una institución que va creciendo a pasos agigantados y pensando en futuras demandas, e incremento de personal docente, administrativo y de alumnos, se ha optado por emplear en todos los enlaces que se requiera la fibra óptica monomodo con la norma G.652, ya que ésta, como se analizó en el capítulo 1, presenta las mejores características para el diseño propuesto.

Con la fibra óptica monomodo norma G.652, se garantiza robustez en cuanto a capacidad, alta escalabilidad, gran ancho de banda, inmunidad frente al ruido y baja dispersión en la ventana de 1310nm. Además su costo, comparado con la fibra óptica multimodo no difiere de manera significativa.

3.6.5 Elección del tipo de fibra óptica monomodo

En el capítulo 1 se analizó las diferentes recomendaciones las cuales son: G.652, G.653, G.654, G.655, G.656 Y G.657 de cables ópticos que se pueden utilizar en este proyecto.

Todas las recomendaciones poseen capacidades de transmisión que sobrepasan en mucho a las de la norma G.652 y tomando en cuenta que la baja capacidad requerida por los enlaces en el diseño propuesto no justifica el uso de éste tipo de estándares, se ha optado por utilizar la fibra óptica con la norma G.652 para el diseño de la red.

A continuación se realizará una comparación de los estándares G.652 y sus diferentes variaciones para elegir de entre éstas la recomendación que más se ajuste a la necesidad del diseño propuesto. Esta comparación está descrita en la tabla 3.11

	G.652A	G.652B	G.652C	G.652D
Longitud de onda de transmisión (nm)	1310, 1550	1310, 1550, 1625, bandas O, C, L	1310, 1360, 1550, 1625 Bandas O, E, S, C	1310, 1360, 1550, 1625 Bandas O, C, E, S, C, L
Atenuación a 1383nm por OH-	Si	Sí	No, fibra ZWP (Zero Water Peak)	No, fibra ZWP (Zero Water Peak)
Coefficiente de atenuación (dB/km)	1310nm: 0,4 1383nm: 1.0 1550nm: 0,23	1310nm: 0,4 1383nm: 1.0 1550nm: 0,23 1625nm: 0.24	1310nm: 0,4 1383nm: 0,35 1550nm: 0,21 1625nm: 0.23	1310nm: 0,4 1383nm: 0,35 1550nm: 0,21 1625nm: 0.23
Maxima PMD (ps/ \sqrt{Km})	0,5	0,2	0,5	0,1
Aplicaciones	Soporta aplicaciones STM-16 con velocidades de 2,5 Gbps	Soporta aplicaciones STM-64; 256 con velocidades de 10 hasta 40 Gbps	Igual a G652A en un rango de longitud de onda 1360 – 1530nm	Igual a G652B en un rango de longitud de onda 1360 – 1530nm

Tabla 3.11 Comparación de fibra óptica recomendación UIT-T G.652

Al revisar las diferentes recomendaciones, se puede observar que las fibras G.652C y D son las que mejores características presentan, son fibras del tipo ZWP (*Zero Water Peak*), evitan la atenuación causada por los iones hidroxilo, por lo que pueden trabajar en un rango amplio de longitud de onda.

Además presentan menores coeficientes de atenuación, y menor dispersión de modo de polarización, aunque este último solo es evidenciable en velocidades superiores a 10Gbps, es posible que en el futuro se puedan presentar este tipo de necesidades. Por lo descrito anteriormente, la fibra óptica que vamos a utilizar para el diseño propuesto es la G.652D.

Al escoger la fibra óptica que cumpla con la recomendación G.652D, tenemos que en la tercera ventana (1550 nm) la atenuación es de alrededor de 0,2 dB/Km y su coeficiente de dispersión cromática de alrededor de 16 ps/Km.nm.

Por otro lado la longitud de dispersión cromática nula se la tiene en segunda ventana (1310 nm) y aunque su atenuación aumente ligeramente esta longitud de onda es suficiente para satisfacer las necesidades del diseño planteado.

3.6.6 Cálculos para enlaces de fibra óptica [M] [HH]

Utilizando la ecuación 1.6, se puede realizar en análisis de cada uno de los enlaces.

$$P_T - N \cdot \alpha_c - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M_c - M_e \geq P_R$$

Como se trabajará con la fibra óptica G.652.D operando en la segunda ventana de transmisión (1310nm), utilizamos la recomendación UIT-T G.959.1 que establece la norma P1S1-1D1, la cual es un Interfaz óptico recomendado, para enlaces de fibra óptica que operan en la ventana de 1310nm. Para esta norma las frecuencias monocanal a las que se modula la información utilizan la codificación digital utilizando el código de línea NRZ o RZ. La tabla 3.12 establece los parámetros de dicha norma.

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALORES
Velocidad binaria	Gbps	2.5
Tipo de fibra	--	G.652.D
TRANSMISOR S		
Tipo de transmisión	--	SLM Laser modo mono-longitudinal
Potencia máxima	dBm	0
Potencia mínima	dBm	-5
TRAMO ÓPTICO ENTRE EL TRANSMISOR S Y RECEPTOR R		
Atenuación máxima	dB	11
Atenuación mínima	dB	0
Máxima dispersión cromática en el límite superior de λ	ps / nm	± 140
RECEPTOR		
Máxima P de entrada	dBm	0
Sensibilidad mínima	dBm	-26
Potencia de saturación	dBm	-10 hasta -5
VER	--	10^{-12}

Tabla 3.12 Especificaciones técnicas interfaz óptico P1S1-1D1 de la recomendación UIT G.959.1

En el diseño se utilizarán conectores SC para el enlace de fibra óptica y también en los patch-cords de fibra óptica que conectarán los ODF con el transeiver, esto debido a que son los más utilizados en sistemas ópticos.

La atenuación de conector en la interfaz para conectores SC es de entre 0, 2 – 0,4 dB cada uno. En un enlace entre sedes se necesitan 6 conectores SC, como muestra la fig. 3.6 [HH] [M]



Fig. 3.6 Enlace de conexión entre dos sedes ejemplo

El margen de reserva que se considera debido al envejecimiento y daños causados por factores ambientales en los equipos de comunicación óptica, el cual es de 0,1 – 0,6 dB/Km. [HH] [M]

El margen de interfaz óptico de transmisión de 3,6 dB, ya que los enlaces no sobrepasan los 6 Km de distancia entre ellos [HH] [M].

El margen de seguridad de la fibra óptica por reparaciones futuras de fibra óptica es de 1 – 2 dB de atenuación,

El margen de atenuación por empalmes es de 0,2 – 0,4 dB/km. [HH] [M]

Para considerar el peor escenario se tomarán los valores más grandes en las atenuaciones referidas, y se procede con la ec. 1.6 al cálculo de la distancia máxima que puede tener un enlace óptico sin necesidad de regeneración o amplificación, tomando en cuenta que se va a utilizar el cable monomodo G.652.D, con la interfaz P1S1- 1D1 de la recomendación G.959.1 tomados de la UIT-T. [M]

Los datos tomados de la tabla 3.12 a ser utilizados en la ecuación son los siguientes:

$$P_T = -5 \text{ dBm}$$

$$P_R = -26 \text{ dBm}$$

Utilizando la ec. 1.6 se tiene que:

$$P_T - N \cdot \alpha_C - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M_C - M_E \geq P_R$$

Dónde:

P_T = Potencia de transmisión (dBm)

α_C = Atenuación de conector en la interfaz (dB)

N = Numero de conectores de extremo a extremo de enlace

α_e = Atenuación de empalmes (dB)

α = Atenuación por longitud de fibra óptica (dB/Km)

D = Longitud de la fibra óptica (Km)

N_e = Número de empalmes

M_C = Margen de seguridad de la fibra óptica (dB)

M_E = Margen de interfaz óptico de transmisión (dB)

P_R = Potencia de recepción mínima (dBm)

$$-5\text{dBm} - 6 \times 0,4\text{dB} - 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times D - 2\text{dB} - 3,6\text{dB} \geq -26\text{dBm}$$

$$D = 32,5 \text{ Km}$$

Obtenemos como resultado la distancia máxima de 32,5 Km, ya que los enlaces no superan los 6 Km, los parámetros establecidos en el peor de los escenarios son válidos para todos los enlaces del diseño.

Para las fibras ópticas que trabajan en la segunda ventana con una longitud de onda de 1310nm, el coeficiente de dispersión cromática es de alrededor de 4 – 5 ps/Km-nm. De acuerdo a la normativa G.652.D de la UIT, el máximo valor de coeficiente de dispersión es de 5,3 ps/km.nm [7]

Para el cálculo del ancho de banda se toma en cuenta la recomendación G.959.1[7] de la UIT, analizada en el capítulo 1, la cual sugiere utilizar una fuente laser con ancho de banda espectral de 1nm a 5nm, con la finalidad de que el ancho de banda sea lo más grande posible, se utilizará el de anchura 5nm.

Se puede calcular el ancho de banda en el caso de que existiera un enlace de 32,5 Km de la siguiente manera:

$$AB = \frac{0,5}{D W_c \Delta\lambda}$$

ec. 3.1

Dónde:

D = Distancia máxima permitida para un enlace [Km]

Wc = Coeficiente de dispersión cromática de la fibra óptica [ps/Km-nm]

$\Delta\lambda$ = Ancho espectral del láser [nm]

$$AB = \frac{0,5}{D W_c \Delta\lambda}$$

$$AB = \frac{0,5}{32,5 \text{ [km]} \times 5,3 \frac{\text{ps}}{\text{Km nm}} \times 1 \text{ nm}}$$

$$AB = 580,55 \text{ Mhz}$$

Se puede observar que para las condiciones especificadas anteriormente y con una distancia máxima de 32,5 Km, el valor de ancho de banda es igual a 580,55 Mhz.

En el diseño la distancia de enlaces es relativamente pequeña, por lo tanto el ancho de banda resultante va a ser suficiente para las capacidades que se necesitan en cada uno de los enlaces.

En el diseño propuesto, el enlace con mayor capacidad es Granados – Ecopark = 837,16 Mbps, pero su distancia es menor a 1000 m, por lo que a menor distancia el ancho de banda será más grande y viceversa. Ahora se puede calcular el AB de cada enlace del diseño en función de su distancia. Este cálculo se lo presenta en la tabla 3.13.

3.6.6.1 Enlace Granados – Ecopark

- **Enlace Principal:**

La distancia a considerar es de 1840 metros, no va a existir pérdida por empalme ya que los rollos de fibra óptica se los puede conseguir íntegros para esta distancia. La potencia total en el enlace incluyendo atenuaciones se calcula a continuación.

$$P_T - N \cdot \alpha_c - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M \cdot C \geq P_R$$

$$-5\text{dBm} - 6 \times 0,4\text{dB} - 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 1,840\text{Km} - 2\text{dB} - 3,6\text{dB} \geq -26\text{dBm}$$

$$-13,736\text{dBm} \geq -26\text{dBm}$$

Se puede observar que la potencia recibida en el extremo del enlace es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, y menor a la potencia de saturación que es de - 5 dBm, por lo tanto es un enlace viable.

De acuerdo a la normativa G.652.D de la UIT, el máximo valor de coeficiente de dispersión es de 5,3 ps/km.nm. [1], además la recomendación G.959.1 [1] de la UIT, analizada en el capítulo 1, sugiere utilizar una fuente laser con anchura espectral de entre 1nm a 5nm, para el diseño se utilizará el láser de 5nm.

El ancho de banda se lo calcula de la siguiente forma:

$$AB = \frac{0,5}{D W_c \Delta\lambda}$$

$$AB = \frac{0,5}{1,84 [\text{km}] \times 5,3 \frac{\text{ps}}{\text{Km nm}} \times 5\text{nm}}$$

$$AB = 10,25 \text{ Ghz}$$

El transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, al utilizar esta codificación se logra aumentar la vida útil del láser y mejorar el sincronismo del sistema. Por lo tanto.

$$Capacidad_{enlace} = 10,50 \text{ Gbps}$$

$Capacidad_{requerida} = 837,16 \text{ Mbps}$; El ancho de banda abastece sin problemas la capacidad requerida por el enlace.

- **Enlace Backup:**

La distancia a considerar es de 2520 metros, no va a existir pérdida por empalme ya que la fibra óptica se la puede conseguir integra para éstas distancias. La potencia total en el enlace incluyendo atenuaciones se calcula a continuación.

$$P_T - N \cdot \alpha_C - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M \cdot C \geq P_R$$

$$-5\text{dBm} - 6 \times 0,4\text{dB} - 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 2,52\text{Km} - 2\text{dB} - 3,6\text{dB} \geq -26\text{dBm}$$

$$-14,008\text{dBm} \geq -26\text{dBm}$$

Se puede observar que la potencia recibida en el extremo del enlace es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, y menor a la potencia de saturación que es de - 5 dBm, por lo tanto es un enlace viable.

El ancho de banda se lo calcula de la siguiente forma:

$$AB = \frac{0,5}{D \cdot W_c \cdot \Delta\lambda}$$

$$AB = \frac{0,5}{2,52 [\text{km}] \times 5,3 \frac{\text{ps}}{\text{Km nm}} \times 5\text{nm}}$$

$$AB = 7,4 \text{ Ghz}$$

El transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, al utilizar esta codificación se logra aumentar la vida útil del láser y mejorar el sincronismo del sistema. Por lo tanto.

$$Capacidad_{enlace} = 7,4 \text{ Gbps}$$

$Capacidad_{requerida} = 837,16 \text{ Mbps}$; El ancho de banda mínimo abastece sin problemas la capacidad requerida por el enlace.

3.6.6.2 Enlace Granados – Query

- **Enlace Principal:**

La distancia a considerar es de 600 metros, no va a existir pérdida por empalme ya que la fibra óptica se la puede conseguir integra para éstas distancias. La potencia total en el enlace incluyendo atenuaciones se calcula a continuación.

$$P_T - N \cdot \alpha_C - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M \cdot C \geq P_R$$

$$-5\text{dBm} - 6 \times 0,4\text{dB} - 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 0,6\text{Km} - 2\text{dB} - 3,6\text{dB} \geq -26\text{dBm}$$

$$-13,24\text{dBm} \geq -26\text{dBm}$$

Se puede observar que la potencia recibida en el extremo del enlace es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, y menor a la potencia de saturación que es de - 5 dBm, por lo tanto es un enlace viable.

El ancho de banda se lo calcula de la siguiente forma:

$$AB = \frac{0,5}{D W_c \Delta\lambda}$$

$$AB_{\min} = \frac{0,5}{0,6 [\text{km}] \times 5,3 \frac{\text{ps}}{\text{Km nm}} \times 5\text{nm}}$$

$$AB_{\min} = 31,44 \text{ Ghz}$$

El transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, al utilizar esta codificación se logra aumentar la vida útil del láser y mejorar el sincronismo del sistema. Por lo tanto.

$$Capacidad_{\text{enlace}} = 31,44 \text{ Gbps}$$

$Capacidad_{\text{requerida}} = 363,90 \text{ Mbps}$; El ancho de banda abastece sin problemas la capacidad requerida por el enlace.

.Enlace Backup:

La distancia a considerar es de 480 metros, no va a existir pérdida por empalme ya que la fibra óptica se la puede conseguir integra para éstas distancias. La potencia total en el enlace incluyendo atenuaciones se calcula a continuación.

$$P_T - N \cdot \alpha_C - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M \cdot C \geq P_R$$

$$-5\text{dBm} - 6 \times 0,4\text{dB} - 0,4 \frac{\text{dB}}{\text{km}} \times 0,48\text{Km} - 2\text{dB} - 3,6\text{dB} \geq -26\text{dBm}$$

$$-13,192\text{dBm} \geq -26\text{dBm}$$

Se puede observar que la potencia recibida en el extremo del enlace es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, y menor a la potencia de saturación que es de - 5 dBm, por lo tanto es un enlace viable.

El ancho de banda se lo calcula de la siguiente forma:

$$AB = \frac{0,5}{D \cdot W_c \cdot \Delta\lambda}$$

$$AB = \frac{0,5}{0,48 [\text{km}] \times 5,3 \frac{\text{ps}}{\text{Km nm}} \times 5\text{nm}}$$

$$AB = 39,3 \text{ Ghz}$$

El transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, al utilizar esta codificación se logra aumentar la vida útil del láser y mejorar el sincronismo del sistema. Por lo tanto.

$$Capacidad_{enlace} = 39,3 \text{ Gbps}$$

$Capacidad_{requerida} = 363,90 \text{ Mbps}$; El ancho de banda mínimo abastece sin problemas la capacidad requerida por el enlace.

3.6.6.3 Enlace Granados – Colón

- **Enlace Principal:**

La distancia a considerar es de 5540 metros, en este caso si va a existir una pérdida por empalme ya que la fibra óptica viene en carretas de 5, 10, 15, Km, por lo que se introduce una atenuación a causa de un empalme de fibra. La potencia total en el enlace incluyendo atenuaciones se calcula a continuación.

$$\begin{aligned}
 P_T - N \cdot \alpha_c - \alpha \cdot D - \alpha_e \cdot N_e - M \cdot C &\geq P_R \\
 -5dBm - 6 \times 0,4dB - 0,4 \frac{dB}{km} \times 5,54Km - 1 \times 0,4dB - 2dB - 3,6dB &\geq -26dBm \\
 -15,616dBm &\geq -26dBm
 \end{aligned}$$

Se puede observar que la potencia recibida en el extremo del enlace es mucho mayor que la sensibilidad del receptor, y menor a la potencia de saturación que es de - 5 dBm, por lo tanto es un enlace viable.

El ancho de banda se lo calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 AB &= \frac{0,5}{D W_c \Delta\lambda} \\
 AB &= \frac{0,5}{5,54 [km] \times 5,3 \frac{ps}{Km nm} \times 5nm} \\
 AB &= 3,4 GHz
 \end{aligned}$$

El transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, al utilizar esta codificación se logra aumentar la vida útil del láser y mejorar el sincronismo del sistema. Por lo tanto.

$$Capacidad_{enlace} = 3,4 Gbps$$

$Capacidad_{requerida} = 134 Mbps$; El ancho de banda mínimo abastece sin problemas la capacidad requerida por el enlace.

El enlace inalámbrico de *backup* entre la sede Granados y la sede Colón se lo detalla más adelante.

La tabla 3.13 muestra cada uno de los enlaces de fibra óptica y su mínimo ancho de banda disponible.

ENLACE		DISTANCIA	AB
Granados–Query	Principal	0,6 Km	31,44 Ghz
	Backcup	0,48 Km	39,3 Ghz
Granados–Ecoparck	Principal	1,84 Km	10,25 Ghz
	Backcup	2,52 Km	7,4 Ghz
Granados–Colón	Principal	5,54 Km	3,4 Ghz

Tabla 3.13 Ancho de banda mínimo disponible de cada enlace de fibra óptica

3.6.7 Equipos para enlace de fibra óptica

Como se indicó en el capítulo anterior, los equipos de red que la UDLA posee, son capaces de realizar una comunicación óptica y soportar todas las aplicaciones actuales y la capacidad de los enlaces diseñados.

Los equipos necesarios para la los enlaces de fibra son los siguientes:

- Fibra óptica ADSS norma G.652D.
- *Transceivers* que son convertidores electro-óptico para el envío y recepción de la información óptica, con las características descritas en el diseño.
- ODF (*Optical Distribution Frame*) que facilitan la centralización, interconexión y derivaciones de cables de fibra óptica en un rack normalizado.

- Patchcords de fibra SC-SC que se utilizarán para la conexión de los ODF a los *transeivers*.

Éstos se detallan en la tabla 3.14 mostrada a continuación.

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
12	Km	Fibra óptica monomodo de 12 hilos que cumpla con la recomendación G.652.D, tipo: ADSS
11	Unidad	Transceiver de fibra a cobre de 10/100 Mbps
11	Unidad	PatchCord de fibra monomodo SC/SC
3	Unidad	ODF 6 puertos SC monomodo
1	Unidad	ODF 48 puertos SC monomodo

Tabla 3.14 Elementos requeridos para todos enlaces de fibra óptica diseñados

El sistema que se muestra en la figura 3.7 está diseñado para combinar altas densidades de fibras con facilidad de utilización, seguridad y sencillez de mantenimiento. La tabla 3.14 muestra la cantidad de elementos necesarios para todos los enlaces de fibra óptica del diseño propuesto.

Se puede observar que son necesarios 10,98 Km de fibra óptica monomodo G.652D, sin embargo se añade un 10% extra como margen de error en cada uno de los enlaces, por lo que se necesitaría alrededor de 12 Km de fibra óptica para cubrir todos los enlaces requeridos.

Esta cantidad se verá reflejada en el presupuesto final.

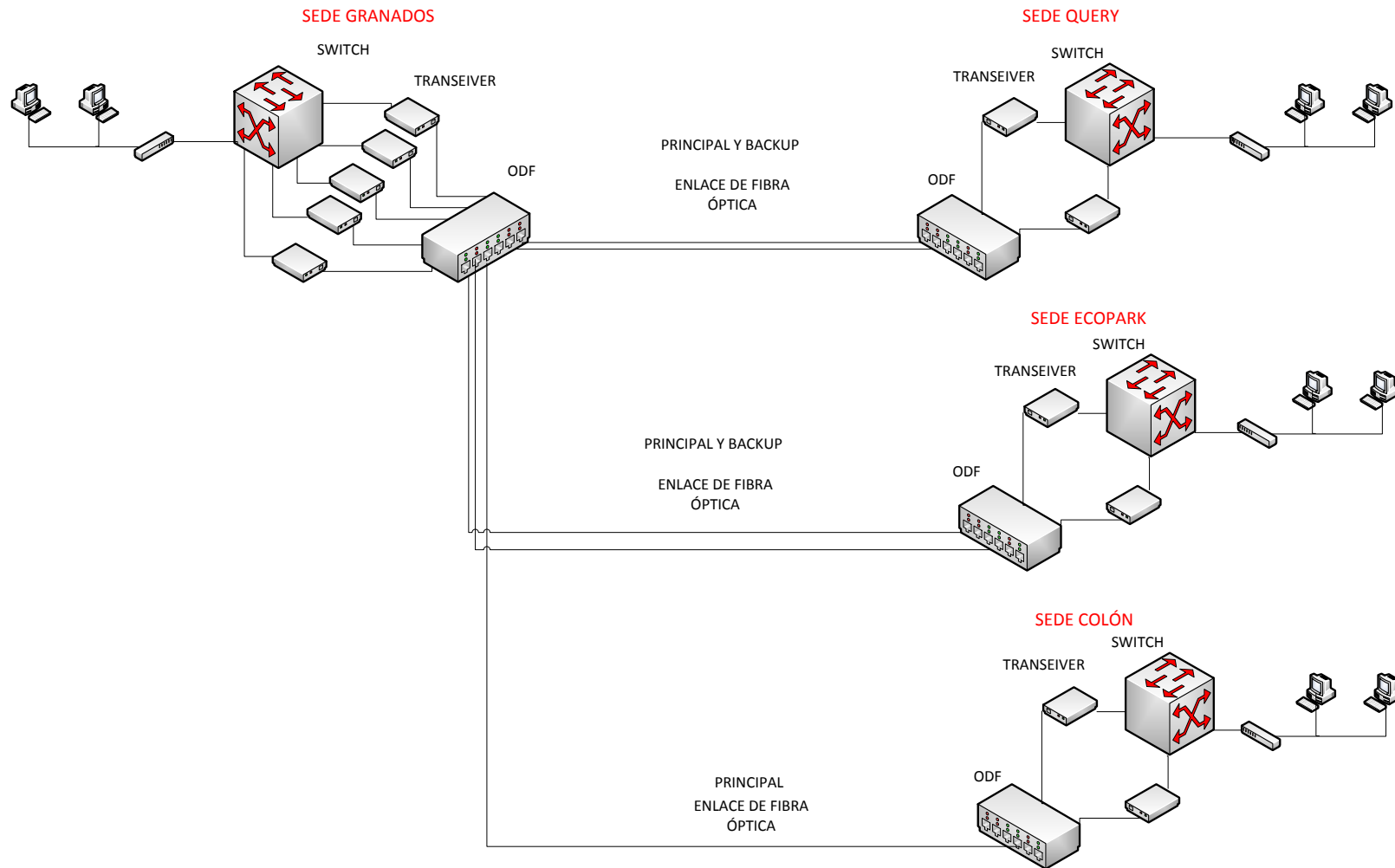


Fig. 3.7 Esquema General de enlaces entre las sedes de la UDLA

3.7 DISEÑO DE ENLACE INALÁMBRICO DE BACKUP GRANADOS-COLÓN

La frecuencia de operación para dicho enlace se realizará en la banda de 5800 MHz, esta es una banda de libre uso, pero la SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) debe emitir un certificado de registro para lo cual solicita la información técnica y legal del enlace a diseñar.

[1] Para un enlace punto a punto, se establece una tarifa mensual la cual se calcula a continuación.

$$TA(US \$) = K_a * \alpha_6 * \beta_6 * B * N \quad \text{ec. 3.2}$$

Dónde:

$TA(US \$)$ = Tarifa mensual en dólares

K_a = Factor de ajuste de inflación

α_6 = Coeficiente de valoración del espectro

β_6 = Coeficiente de corrección de espectro

B = Constante de servicio

N = Número total de estaciones fijas, base y móviles

Los valores que se describen a continuación son valores recomendados por la SENATEL para enlaces punto a punto.

$$K_a = 1; \alpha_6 = 0,533333; \beta_6 = 1; B = 12$$

Por lo tanto el pago mensual a realizar será:

$$TA(US \$) = 1 * 0,533333 * 1 * 12 * 2 = 12,79 \text{ USD, Este valor se verá reflejado en el presupuesto final del enlace.}$$

¹ Reglamento de derechos por concesión y tarifas por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.

3.7.1 Cálculo de enlace de *backup* granados-colón

Para realizar este cálculo utilizamos las ecuaciones 1.7, 1.8, 1.9, 1.10 y 1.11, descritas en el capítulo 1, necesarias en el diseño de enlaces inalámbricos. Los datos para el cálculo son los siguientes:

$$f = 5800 \text{ MHz}$$

$$d = 4,1 \text{ Km}$$

Pérdida de Propagación

$$P_p = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d$$

$$P_p = 119,93 \text{ dB}$$

Potencia del Receptor

$$P_r = P_t + G_t - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} + G_r - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} - P_p$$

$$P_r = 20 \text{ dBm} + 20 \text{ dBi} - 1 \frac{\text{dB}}{\text{m}} \times 1 \text{ m} - 0,4 \text{ dB} - 04 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} + 20 \text{ dBi} - 1 \frac{\text{dB}}{\text{m}} \times 1 \text{ m} - 0,4 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} - 119,93 \text{ dB}$$

$$P_r = -64,33 \text{ dBm}$$

Margen de Desvanecimiento

$$A = 1$$

$$B = 0.125$$

$$F_m = 30 \log d + 10 \log(6 \cdot A \cdot B \cdot f) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$$F_m = 30 \log(4,1) + 10 \log(6 \times 1 \times 0,125 \times 5800) - 10 \log(0.0001) - 70$$

$$F_m = 24,76$$

Umbral del receptor

$$U_r = P_r - F_m$$

$$U_r = -64,33 - 24,76$$

$$U_r = -89,09 \text{ dBm}$$

Este valor de umbral es igual a la sensibilidad del equipo en la recepción (S_r)

Link Budget

$$L_b = P_t + G_t - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} + G_r - P_c - P_{pg} - P_{br} - P_{ac} + S_r - P_p$$

$$L_b = 20 + 20 - 1 - 0,4 - 0,4 - 0,4 + 20 - 1 - 0,4 - 0,4 - 0,4 + 89,09 - 119,93$$

$$L_b = 24,76 \text{ dB}$$

El Link Budget es un valor generado por la suma algebraica de todas las ganancias y las pérdidas en un determinado enlace, si el resultado es positivo quiere decir que las ganancias superan las pérdidas y el enlace es viable (mínimo 5 dB), caso contrario, si el resultado es negativo, el enlace no es viable ya que existe más pérdidas que ganancias en dicho enlace.

Con el resultado obtenido, se concluye que el enlace inalámbrico diseñado es viable.

3.7.2 Análisis de ubicación de enlace inalámbrico [R]

Para facilidad de análisis y validación del enlace inalámbrico se utiliza el software *Radio Mobile*, el cual es un programa de simulación de radio-propagación gratuito que sirve para predecir el comportamiento de sistemas de radio, simular radioenlaces e identificar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones. La ubicación de las antenas se detalla en la tabla 3.15, en ésta se puede observar la ubicación de la antena sobre una torre en cada una de las sedes.

Con ayuda del software *Radio Mobile* se puede observar la zona de Fresnel, por lo tanto se puede estimar la altura adecuada de las antenas en cada sede para una transmisión con línea de vista y con zona de Fresnel despejada totalmente o al menos el 60 % de la primera zona.

Ubicación de la torre	Altura del sitio sobre el nivel del mar	Altura de la antena sobre la tierra (Quito)	Coordenadas geográficas	
			Latitud	Longitud
Sede Granados	2803 m	45 m	0°10'4.06" S	78°28'21.74" O
Sede Colón	2795 m	35 m	0°12'8.07" S	78°29'7.09" O

Tabla 3.15 Ubicación geográfica de las sedes Granados y Colón

Las figuras 3.8 indica la ubicación de las sedes y el enlace dentro de un mapa de la ciudad de Quito, esto se logró con la con ayuda del software *Radio Mobile*. La figura 3.9 y 3.10 muestra la zona de Fresnel despejada y parámetros configurados para el enlace respectivo.

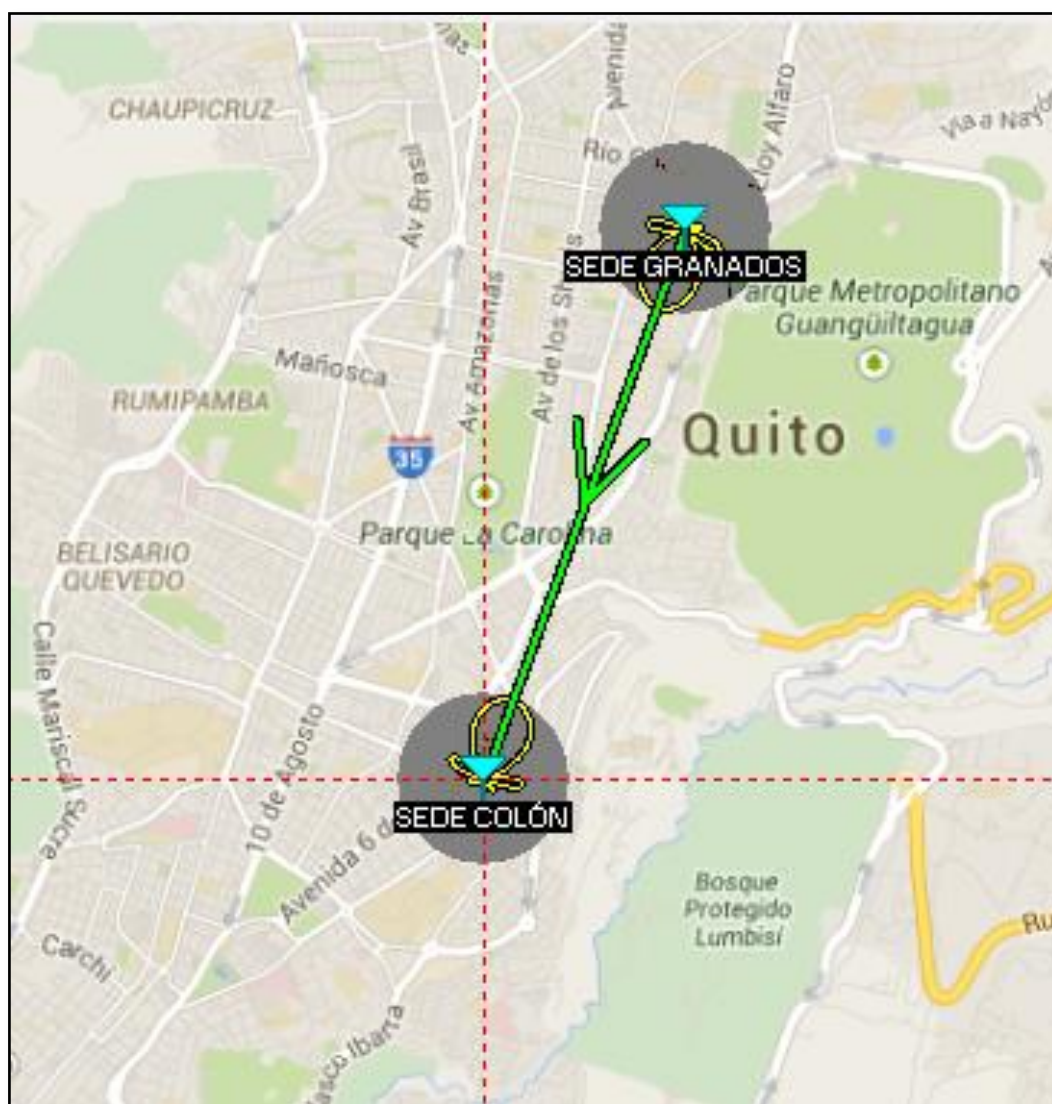


Fig. 3.8 Enlace ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito utilizando Google Maps

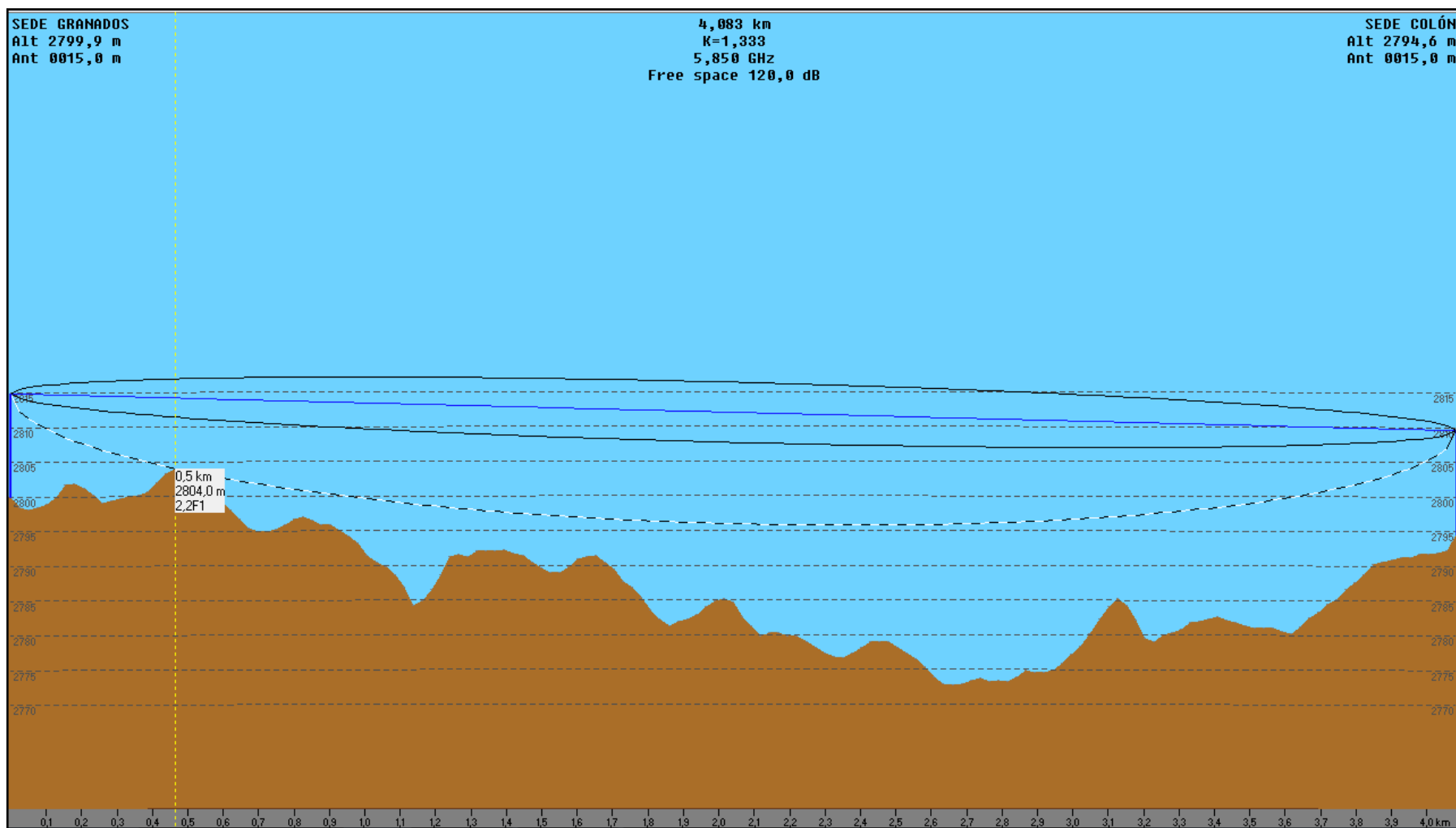


Fig. 3.9 Zona de Fresnel despejada en enlace Granados - Colón

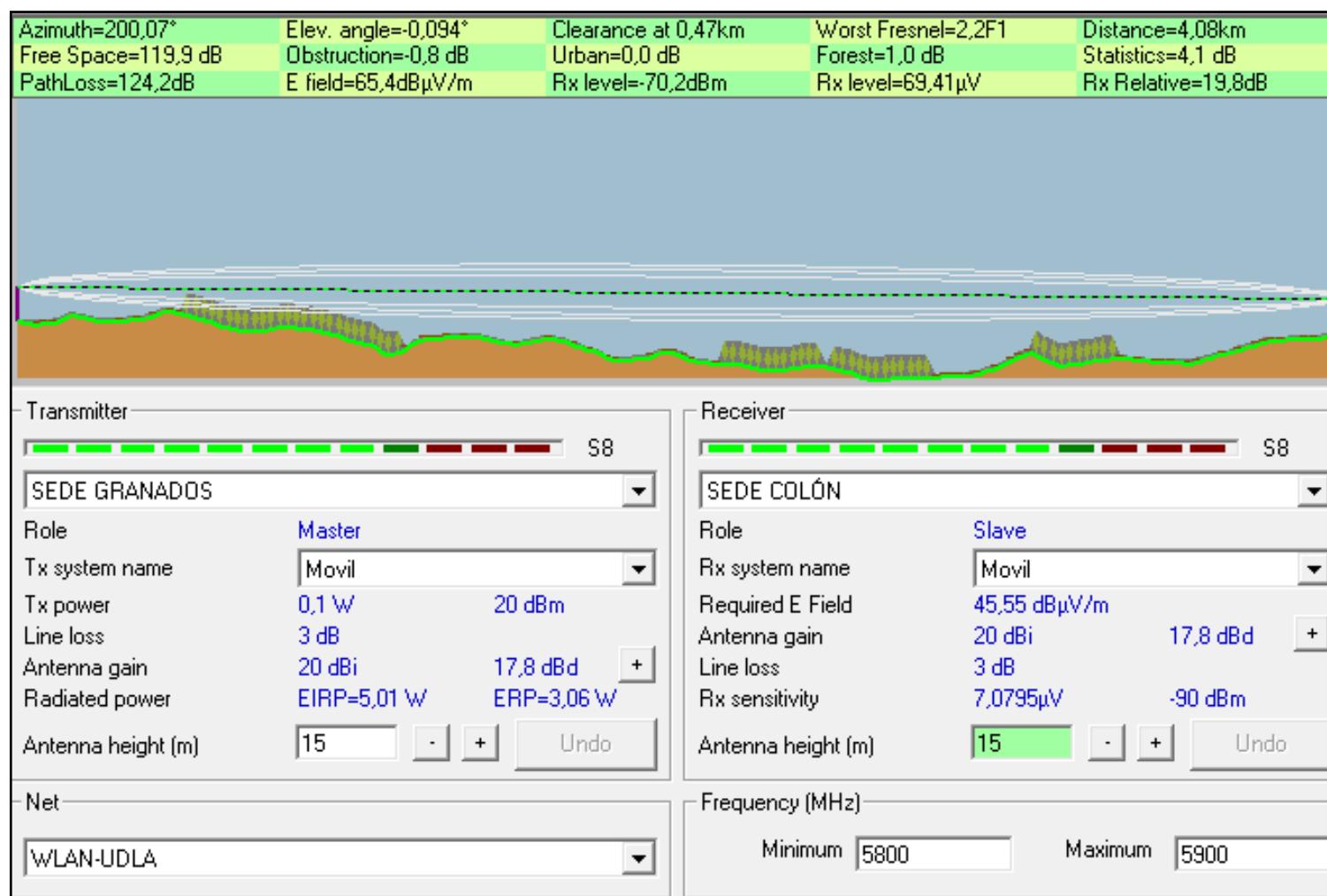


Fig. 3.10 Características de altura, pérdida y ganancia en el enlace

3.7.2.1 Características y parámetros del radio enlace Granados-Colón

Para este enlace se requiere un enlace punto - punto, los equipos inalámbricos serán ubicados en cada una de las sedes y sus antenas estarán situadas a las alturas indicadas en la tabla 3.16, de esta manera se puede mantener la primera zona de Fresnel despejada y obtener un enlace inalámbrico con línea de vista despejada.

El software permite configurar parámetros como pérdidas y ganancias generadas a lo largo del enlace de comunicación, tales pérdidas se producen por la propagación de la onda electromagnética, pérdidas en el espacio libre, atenuación en conectores. Las ganancias son generadas por las antenas de transmisión y recepción, cada una de ellas fue calculada de manera teórica y coinciden con los datos que el software genera, por lo tanto la simulación se acerca mucho al enlace inalámbrico real.

Todas estas características se las resume en la siguiente tabla.

CARACTERÍSTICAS DEL RADIO ENLACE		
Característica	Datos Radio Mobile	Datos Calculados
Frecuencia de operación	5,8 [Ghz]	5,8 [Ghz]
Distancia	4,08 [Km]	4,11 [Km]
Refractividad de la superficie	301 [Unidades-n]	* 301 [Unidades-n]
Conductividad del suelo	0,02 [S/m]	* 002 [S/m]
Permitividad del suelo	15	* 25
Clima	Continental templado	Continental templado
Topología	Punto-punto	Punto – punto
PARAMETROS DE EQUIPOS USADOS EN LA SIMULACIÓN		
Potencia de transmisión	20 [dBm]	20 [dBm]
Ganancia antena de transmisión	20 [dBi]	20 [dBi]
Ganancia antena de recepción	20 [dBi]	20 [dBi]
Sensibilidad de recepción	-90 [dBm]	-89,09 [dBm]
CARACTERÍSTICAS DEL ENLACE		

Pérdidas en el espacio libre	109,9 [dB]	119,93 [dB]
Pérdidas de línea	3 [dB]	-----
Total de pérdidas de propagación	124 [dB]	124,33 [dB]

Tabla 3.16 Características del enlace Granados – Colón

*** Parámetros descritos en el capítulo 1**

Algunas de las características varían en el software *Radio Mobile* esto puede ser por las pérdidas que el software aumenta en su programación, por ejemplo por obstrucciones urbanas y de forestación que los formatos de mapas incluyen en sus características y que en la práctica no se toman en cuenta.

A pesar de ello se observa que las diferencias entre los datos calculados y los datos que el software genera no son relevantes, por lo tanto la simulación que realizamos con el software es válida para el análisis del enlace inalámbrico.

3.7.3 Equipos para el enlace inalámbrico

Una vez realizado el análisis del enlace, se puede especificar las características de los equipos necesarios para el mismo, éstas se detallan a continuación.

EQUIPO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
RADIO INALÁMBRICO	2	Potencia de transmisión: 100 mW Estándar 802.11n, 250 Mbps Interfases 1,2 LAN, 1, 2 WLAN, IP Routing Seguridad AES, WEP, WPA QoS (Calidad de servicio) Frecuencia 5725 – 5850 MHz
ANTENA	2	Ganancia de 16dbi – 25 dBi Frecuencia: 5725 – 5850 MHz Ancho del Haz (beamwidth): 6 – 20 grados Polarización: vertical y horizontal

Tabla 3.17 Características de radio y antena para el enlace inalámbrico

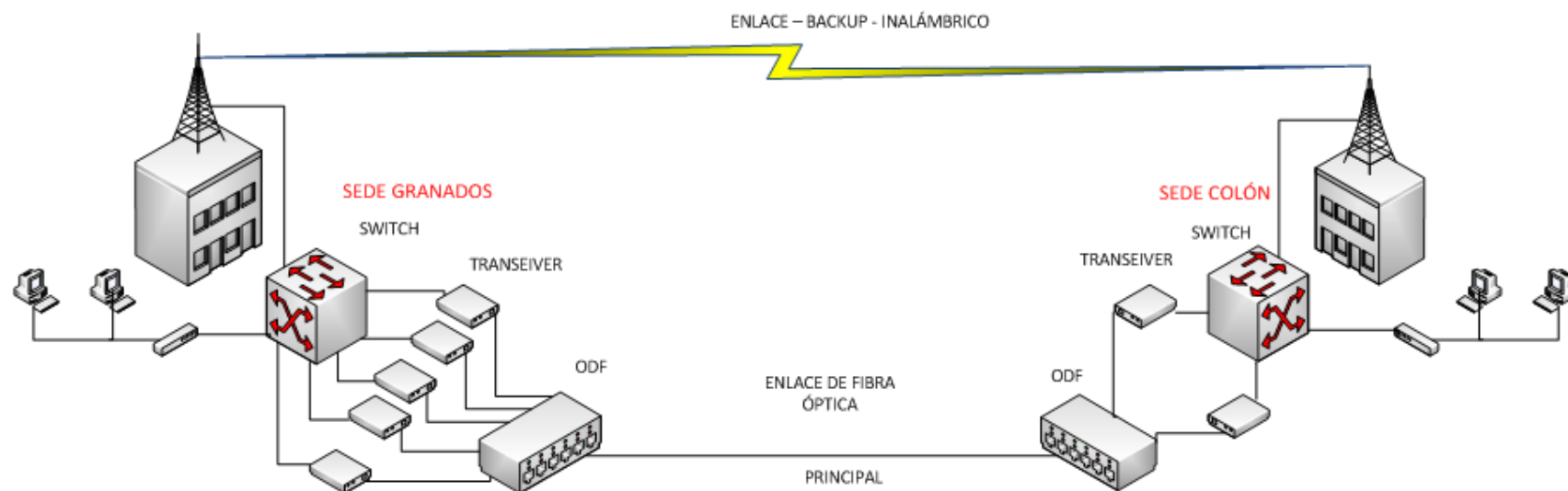


Fig. 3.11 Enlace Principal y de respaldo Granados - Colón

CAPÍTULO 4

COSTOS REFERENCIALES DEL PROYECTO

4.1 PRESUPUESTO

En este capítulo se detallará los costos asociados al enlace de fibra óptica e inalámbrico del diseño propuesto, estos costos son establecidos en base a referencia de empresas proveedoras de equipos y servicios de telecomunicaciones.

Con el análisis realizado en el capítulo anterior, se determinó los elementos necesarios para la solución de enlaces de fibra óptica e inalámbrico, con ayuda del departamento de adquisiciones de la UDLA se solicitó proformas y ofertas de dichos materiales (ver anexo B) necesarios para la puesta en marcha del diseño propuesto. Los costos asociados a éstos se los detalla a continuación.

4.1.1 Presupuesto referencial para enlace de fibra óptica

Para el enlace de fibra óptica, tanto principal como de respaldo, en las distintas sedes de la Universidad se requiere de los siguientes equipos.

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
12	Km	Fibra óptica monomodo de 12 hilos que cumpla con la recomendación G.652.D, tipo: ADSS
11	Unidad	Transceiver de fibra a cobre de 10/100 Mbps
11	Unidad	PatchCord de fibra monomodo SC/SC
3	Unidad	ODF 6 puertos SC monomodo

1	Unidad	ODF 48 puertos SC monomodo
---	--------	----------------------------

Tabla 4.1 Equipos necesarios para los enlaces de fibra óptica

4.1.1.1 Costos enlace Granados – Colón

Para este caso se toma en cuenta que solo la red principal es de fibra óptica, la red de backup es un enlace inalámbrico.

El presupuesto se detalla en la siguiente tabla. El número de postes que recorrerá la fibra óptica es de aproximadamente 140, cada uno de ellos está separado una distancia de 40 metros por disposición general de la Empresa Eléctrica Quito.

TENDIDO AÉREO PARA RED DE FIBRA ÓPTICA			
Material	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Cable de fibra óptica			
Cable de Fibra óptica ADSS G.652.D monomodo	5.540	1,48	8.199,20
ODF 12 puertos SC monomodo	1	156,66	156,66
ODF 48 puertos SC monomodo	1	156,66	156,66
Transeiver de fibra - cobre 10/100	2	43,75	87,50
Patchcord fibra	2	23,63	47,26
fusión de fibra óptica	1	230,00	230,00
Elementos de sujeción			
Herrajes Tipo A sujeción	140	5,78	809,20
Hebillas $\frac{3}{4}$	140	0,44	61,60
Sunchos Metálicos $\frac{3}{4}$	140	30,00	4.200,00
Abrazadera Galvanizada Doble	70	7,30	511,00
Abrazadera Galvanizada Simple	140	5,12	716,80
Band cinta de 1/2"	2	21,63	43,26
Herraje tipo B retención	70	9,90	693,00
Mano de obra			
Tendido de fibra optica aérea	5.540,00	0,85	4.709,00
Instalación herrajes tipo A	140	0,6	84,00
Instalación herrajes tipo B	70	0,6	42,00
Inspección de vía y postes para istalación	5.540	0,40	2.216,00
		SUBTOTAL	22.963,14

IVA 12%	2.755,58
TOTAL	25.718,72

Tabla 4.2 Presupuesto enlace de fibra óptica Granados – Colón

4.1.1.2 Costos enlace Granados – Query

Para este enlace se toma en cuenta tanto la red principal como la de backup, ya que las dos son enlaces de fibra óptica.

El presupuesto se detalla en la siguiente tabla. El número de postes que recorrerá la fibra óptica es de aproximadamente 27, cada uno de ellos está separado una distancia de 40 metros por disposición general de la Empresa Eléctrica Quito.

TENDIDO AÉREO PARA RED DE FIBRA ÓPTICA			
Material	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Cable de fibra óptica			
Cable de Fibra óptica ADSS G.652.D monomodo	1.080	1,48	1.598,40
ODF 12 puertos SC monomodo	1	156,66	156,66
ODF 48 puertos SC monomodo	0	156,66	0,00
Transeiver de fibra - cobre 10/100	4	130,00	520,00
Patchcord fibra	4	23,63	94,52
fusión de fibra óptica	0	230,00	0,00
Elementos de sujeción			
Herrajes Tipo A sujeción	27	5,78	156,06
Hebillas ¾	27	0,44	11,88
Sunchos Metálicos ¾	27	30,00	810,00
Abrazadera Galvanizada Doble	15	7,30	109,50
Abrazadera Galvanizada Simple	27	5,12	138,24
Band cinta de 1/2"	1	21,63	21,63
Herraje tipo B retención	15	9,90	148,50
Mano de obra			
Tendido de fibra optica aérea	1.080	0,85	918,00
Instalación herrajes tipo A	27	0,6	16,20

Instalación herrajes tipo B	15	0,6	9,00
Inspección de vía y postes para instalación	1.080	0,40	432,00
		SUBTOTAL	5.140,59
		IVA 12%	616,87
		TOTAL	5.757,46

Tabla 4.3 Presupuesto enlace de fibra óptica Granados – Query

4.1.1.3 Costos enlace Granados – Ecopark

Para este enlace se toma en cuenta tanto la red principal como la de backup, ya que las dos son enlaces de fibra óptica.

El presupuesto se detalla en la siguiente tabla. El número de postes que recorrerá la fibra óptica es de aproximadamente 109, cada uno de ellos está separado una distancia de 40 metros por disposición general de la Empresa Eléctrica Quito.

TENDIDO AÉREO PARA RED DE FIBRA ÓPTICA			
Material	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
Cable de fibra óptica			
Cable de Fibra óptica ADSS G.652.D monomodo	4.360	1,48	6.452,80
ODF 12 puertos SC monomodo	1	156,66	156,66
ODF 48 puertos SC monomodo	0	156,66	0,00
Transeiver de fibra - cobre 10/100	4	130,00	520,00
Patchcord fibra	4	23,63	94,52
fusión de fibra óptica	0	230,00	0,00
Elementos de sujeción			
Herrajes Tipo A sujeción	109	5,78	630,02
Hebillas ¾	109	0,44	47,96
Sunchos Metálicos ¾	109	30,00	3.270,00
Abrazadera Galvanizada Doble	60	7,30	438,00
Abrazadera Galvanizada Simple	109	5,12	558,08
Band cinta de 1/2"	2	21,63	43,26
Herraje tipo B retención	60	9,90	594,00
Mano de obra			

Tendido de fibra optica aérea	4.360	0,85	3.706,00
Instalación herrajes tipo A	109	0,6	65,40
Instalación herrajes tipo B	60	0,6	36,00
Inspección de vía y postes para istalación	4.360	0,40	1.744,00
SUBTOTAL			18.356,70
IVA 12%			2.202,80
TOTAL			20.559,50

Tabla 4.4 Presupuesto enlace de fibra óptica Granados – Ecopak

4.1.2 Costos enlace inalámbrico

Para el enlace inalámbrico de *backup* se necesitan los siguientes elementos:

EQUIPO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
RADIO INALÁMBRICO	2	Potencia de transmisión: 100 mW Estándar 802.11n, 250 Mbps Interfases 1,2 LAN, 1, 2 WLAN, IP Routing Seguridad AES, WEP, WPA QoS (Calidad de servicio) Frecuencia 5725 – 5850 MHz
ANTENA	2	Ganancia de 16dbi – 25 dBi Frecuencia: 5725 – 5850 MHz Ancho del Haz (beamwidth): 6 – 20 grados Polarización: vertical y horizontal

Tabla 4.5 Equipos necesarios para enlace inalámbrico de *backup*

En el anexo C se incluyen los costos de radios y antenas necesarios para el enlace inalámbrico, por lo tanto, si analizamos el costo de estos equipos se puede determinar el presupuesto como se muestra a continuación.

EQUIPOS DE COMUNICACIÓN ENLACE INALÁMBRICO			
Material	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)

Radio HP 802.11n MSM466	2	999,00	1.998,00
Antena tipo Grilla NETKROM	2	75,00	150,00
Cable pigtail	2	26	52,00
Pago por 5 años SENATEL	1	767,4	767,40
SUBTOTAL			2.967,40
IVA 12%			356,09
TOTAL			3.323,49

Tabla 4.6 Presupuesto enlace inalámbrico de backup Granados-Colón

Los equipos inalámbricos serán colocados en la infraestructura (torres) existente en los edificios de las sedes involucradas en el enlace.

4.1.3 Presupuesto total

Una vez analizados los posibles costos que implica la puesta en marcha del proyecto de diseño propuesto, se finaliza con el presupuesto total, el cual incluye tanto los enlaces de fibra óptica como el enlace inalámbrico detallados anteriormente.

Los enlaces de fibra óptica corresponden a todos los enlaces principales entre las distintas sedes y 2 enlaces de backup, como se indica a continuación

- Enlace principal Granados – Colón
- Enlace principal Granados – Query
- Enlace principal Granados – Ecopark
- Enlace backup Granados – Query
- Enlace backup Granados – Ecopark
- El único enlace inalámbrico corresponde a un enlace de *backup* de la sede Granados con la sede Colón.

El costo de inversión total se lo presenta en la siguiente tabla.

INVERSIÓN TOTAL	
Tipo de enlace	Precio (USD)
Enlace fibra óptica	
Enlace Granados - Query (Fibra óptica)	5.757,46
Enlace Granados - Ecopark (Fibra óptica)	20.559,50
Enlace Granados - Colón (Fibra óptica)	25.718,72
Enlace de Backup	
Enlace Granados - Colón (Inalámbrico)	3.323,49
Arriendo de postes (276)*	2.842,80
TOTAL	58.201,97

Tabla 4.7 Inversión total para puesta en marcha del diseño propuesto

* El precio de arriendo anual de cada poste es de USD 10,30, según la EEQ.

4.1.4 Análisis de inversión para implementación

Como se mencionó anteriormente, la UDLA contrata los servicios de una empresa para el transporte de sus datos entre las distintas sedes, por lo que paga un arriendo mensual por este servicio. Este pago se detalla en el anexo D, en el cual se puede observar detallado en la tabla 4.8.

EMPRESA	ENLACE	VALOR (USD)
TELEFÓNICA-MOVISTAR	GRANADOS - COLÓN	995,00
TELEFÓNICA-MOVISTAR	GRANADOS - QUERY	15.601,00
COSTO TOTAL DE ARRENDAMIENTO MENSUAL		16.596,00

Tabla 4.8 Costo de arrendamiento por enlaces de la UDLA

PROYECTO	VALOR (USD)
COSTO TOTAL DEL PROYECTO PROPUESTO	58.201,97

Tabla 4.9 Costo total del proyecto de red propuesto (fibra óptica monomodo y transeivers ópticos láser)

PROYECTO	VALOR (USD)
COSTO TOTAL DEL PROYECTO PROPUESTO	57.761,97

Tabla 4.10 Costo total del proyecto de red propuesto (fibra óptica multimodo y transeivers ópticos LED)

Al analizar las tablas anteriores, se puede afirmar que con el pago de 4 meses que realiza la universidad por el servicio de transporte de datos entre las 3 sedes involucradas, se puede implementar el proyecto para los enlaces principales y de backup de las 4 sedes, incluyendo a la nueva sede Ecopark que está en construcción.

Además dentro de los enlaces ópticos no existe gran diferencia en cuanto al precio al utilizar fibra óptica y transmisores ópticos de grandes prestaciones que garanticen un adecuado transporte de información. Por lo tanto el proyecto de interconexión entre sedes de la Universidad de las Américas, utilizando fibra óptica y un enlace inalámbrico es posible y viable.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El análisis de los equipos que posee la UDLA generó una visión real del equipamiento que posee en cuanto a infraestructura tecnológica, en base a este análisis se determinaron criterios para el diseño de los enlaces y las características de los equipos necesarios en cada uno de ellos.
- La banda de frecuencia de 2,4 GHz del estándar 802.11 está saturada debido a que la mayoría de empresas y compañías la utilizan en sus enlaces, por esta razón en el enlace inalámbrico diseñado se utiliza la banda gratuita de [5,725 – 5,825] GHz, la cual es la mejor opción para trabajar en enlaces dentro del Distrito Metropolitano de Quito.
- Para que un enlace inalámbrico funcione de manera adecuada uno de los requisitos necesarios es que la zona de Fresnel esté despejada, o por lo menos el 60 % del radio de la primer a zona de Fresnel, para lograr ello se utilizó el software gratuito Radio Mobile, el cual aproxima de una manera muy exacta el perfil topográfico de cada país, en nuestro caso colocamos datos reales de altura para que la zona esté totalmente despejada, lo que permite que el enlace inalámbrico con línea de vista funcione correctamente.
- La fibra óptica es uno de los mejores medios para transporte de información, esto debido a sus características como gran ancho de banda, velocidad de transmisión, inmunidad a interferencias de varios tipos, etc. Uno de los factores que degrada el funcionamiento óptimo

de la fibra es la dispersión, por lo que existen formas de eliminarla, esto se realiza en diferentes longitudes de onda, lo cual permite que la fibra manipulada pueda transportar información en el orden de los 10, 20 - 40 Gbps por cada canal, y utilizando sistemas DWM y DWDM esta capacidad llega a los Tbps.

- El diseño presenta un alto nivel de confiabilidad, escalabilidad, y disponibilidad de la información ya que contamos con enlaces de respaldo que se activan en menos de 2 segundos cuando el principal ha fallado, los equipos que la UDLA son totalmente configurables y poseen sensores en sus interfaces a las que están conectados los enlaces principales y de respaldo los cuales detectan la caída de las comunicaciones por el enlace principal y activan en este tiempo los enlaces de respaldo.
- La implementación del diseño es relativamente económica en comparación con el costo mensual que la universidad asume por este tipo de servicio, de esa forma en menos de un año de pago por el servicio, la universidad puede ser la dueña del manejo, transporte y administración de su información.
- Al tener una red de datos propia de la universidad, el departamento de infraestructura puede ser objeto de prácticas pre-profesionales o visitas de campo, por parte de la comunidad universitaria, y quizá una fuente de trabajo para futuros profesionales en el campo.
- En el cálculo de los enlaces se tomó como ejemplo un porcentaje de simultaneidad de usuarios y aplicaciones del 90%, y aunque es muy acertado este valor, el 100% sería el escenario perfecto, pero como el enlace es diseñado con fibra óptica G.652.D posee una excelente escalabilidad para aumentar la capacidad en cada uno de ellos,

incluyendo nuevas y mejores aplicaciones en la red universitaria, ya que este tipo de fibra trabaja perfectamente con capacidades que superan los 2 Gpbs.

5.2 RECOMENDACIONES

- El software Radio Mobile trabaja con cualquier formato de altitud tal como DTED (Digital Terrain Elevation Data), GTOPO30 (Global Topographic Data), pero el mejor es el SRTM (Shuttle Radar Topography Misi3n) el cual al utilizarlo y combinarlo con im3genes y fotos del Google Earth posee la mejor resoluci3n.
- Al utilizar el software Radio Mobile, es necesario crear las carpetas en un dispositivo ra3z espec3fico, para guardar la informaci3n de los mapas que se van creando. En la carpeta Radio_Mobile se crean las carpetas DTED, googlemap, SRTM1, Terraserver, toporama, virtualearth, yahoomap. En cada una de estas carpetas se van almacenando los archivos que se crean al extraer los mapas y las fotos de lugar donde se realiza el enlace inal3mbrico.
- Es importante tener un margen adicional en el costo total del dise1o de los enlaces principales y de *backup*, ya que existen ciertos gastos asociados a elementos que no prevemos en un inicio. Se recomienda un 10% adicional como presupuesto final.
- La ruta que recorre la fibra 3ptica en los distintos enlaces toma como soporte la infraestructura de postes de la Empresa El3ctrica Quito, mismos que en muchos casos no tienen capacidad de soportar un tendido de fibra a presiones considerables, por lo que podr3an desplomarse en el proceso del montaje de la misma, por lo que, es

importante tener en cuenta un posible cambio de ruta para lograr realizar el tendido de fibra sin problema y de manera segura.

- El Plan Nacional del Buen Vivir del año 2014 contempla ciertos sitios de la ciudad para soterrar las redes eléctricas y de datos, esto debido a que producen un impacto visual negativo en la ciudad. Y aunque en el diseño ninguno de los enlaces se encuentra en la zona A de alta prioridad subterránea, debemos prever a futuro una red principal y de backup completamente inalámbrica con estándares IEEE802.11 o IEEE802.16.
- Dado el caso que el Municipio de Quito obligue a que la fibra óptica sea soterrada, la ductería subterránea es competencia del Municipio, y los permisos para uso de los mismos se los debe gestionar en el Departamento de Territorio, Hábitat y Vivienda del Distrito Metropolitano de Quito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ANEXO A

RUTAS DE FIBRA ÓPTICA PARA CADA ENLACE DEL DISEÑO

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito establece zonas para dar una prioridad de utilización del espacio aéreo o subterráneo en la ciudad de Quito, las principales son:

Zona A, que es de máxima prioridad subterránea, es decir que por estas zonas no se permite pasar ningún tipo de cable de telecomunicaciones por un tendido aéreo.

Zona B, prioridad aérea con reordenamiento, es decir por esta zona se puede aún con permisos municipales y de la Empresa Eléctrica Quito, paso de cables aéreos de manera ordenada.

Todas las rutas a continuación descritas, pertenecen a la zona B, y fueron determinadas utilizando el software GIS (Sistema de Información Georeferenciada) de la Empresa Eléctrica Quito.

RUTA GRANADOS – COLÓN

- **RUTA PRINCIPAL**

Sede Colón UDLA Av. Colón – Av. 12 de Octubre
 Av. 12 de Octubre y Coruña – Av. Gonzales Suárez
 Av. Gonzales Suárez – Juan Bejarano
 Juan Bejarano – Av. Eloy Alfaro
 Av. Eloy Alfaro y Fernando Ayarza – José Query
 José Query – Av. Granados

Av. Granados y José Query .- Sede Granados UDLA

- **RUTA BACKUP**

La ruta es con un enlace inalámbrico. Sede Colón – Sede Granados

RUTA GRANADOS – QUERY

- **RUTA PRINCIPAL**

Sede Granados, Av. Granados – Sede Query, Av. Granados

- **RUTA BACKUP**

Sede Granados, Av. Granados – José Query

José Query – Sede Query

RUTA GRANADOS – ECOPARK

- **RUTA PRINCIPAL**

Sede Granados, Av. Granados – Av Simón Bolívar

Av. Simón Bolívar – Sede Ecopark

- **RUTA BACKUP**

Sede Granados, De Los Colimes – Joel Polanco

Joel Polanco – Av. Eloy Alfaro

Av. Eloy Alfaro – De Las Higueras

De las higueras – De las Azucenas

De las Azucenas – Av. Simón Bolívar

Av. Simón Bolívar – Sede Ecopark

ANEXO B

Precios referenciales de fibra óptica y componentes necesarios para su instalación incluido mano de obra. Estos precios fueron consultados a las empresas OptiSplice y Macronet las cuales proveen este tipo de material y servicios.

REDES AÉREAS		
Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
Cable de fibra óptica 6 hilos multimodo	metro	1,00
Cable de fibra óptica de 12 hilos multimodo	metro	1,20
Cable de fibra óptica 12 hilos monomodo	metro	1,80
Cable de fibra óptica de 12 hilos monomodo G.652.D	metro	3,16
Cable de fibra óptica de 24 hilos	metro	1,50
ODF de 12 puertos SC monomodo	Unidad	195,00
Transeiver de fibra a cobre 10/100 Mbps	Unidad	135,00
Patchcord de fibra SC SC	Unidad	12,00

Precio referencial fibra óptica monomodo G.652.D

ELEMENTOS DE SUJECIÓN		
Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
Herrajes Tipo A Suspensión	1	5,78
Hebillas ¾	1	0,44
Sunchos Metálicos ¾	1	30,00
Abrazadera Galvanizada Doble	1	7,30
Abrazadera Galvanizada Simple	1	5,12
Band it cinta de 1/2"	Caja	21,63
Herraje tipo B Retención	1	9,90

Precio referencial elementos de sujeción para tendido aéreo de fibra óptica

MANO DE OBRA		
Descripción	Unidad	Precio Unitario (USD)
Instalación de cable fibra óptica aérea ADSS	metro	0,85
Instalación de cable fibra óptica aérea con mensajero	metro	0,85
Instalación herrajes tipo A	U	0,60
Instalación herrajes tipo B	U	0,60
Instalación de mangas protección hasta 128 hilos	U	75,00
Montaje de ODF o caja terminal	U	18,00
Fusión de hilo de fibra óptica (por hilo)	U	12,00
Instalación de poste (opcional)	U	120,00
Revisión e inspección de vías	metro	0,40

Precio referencial de mano de obra para el tendido de fibra óptica aérea

Se realizó varias cotizaciones del material necesario para implantar la solución de fibra óptica en los enlaces diseñados. Cada una de ellas maneja diferente precio en cuanto a los materiales necesarios para la implantación de la solución de fibra óptica en el diseño planteado.

A continuación se presentan las proformas emitidas por las empresas: Sat-Comunicaciones, AndeanTrade, Ingertel y 3 E System.

Quito, 11 de Noviembre del 2014

Señores
Diego Criollo

Presente



Me es grato hacerle llegar la siguiente cotización solicitada por usted,

FIBRA OPTICA DE 12 HILOS

1 SUBSISTEMA AREA DE CAMPUS O BACK BACKBONE(ENLACE VERTICAL) F.O.

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	UNID.	CANT.	P. UNIT. US \$	P. TOTAL US \$
1	MATERIALES	BANDEJA MULTIMEDIA DE 48 PUERTOS COMPLETA SC PARA RACK DE 19"	u	1	220,00	220,00
		CORREDIZA (48 PUERTOS SC)				
2	MATERIALES	BANDEJA MULTIMEDIA DE 24 PUERTOS COMPLETA SC PARA RACK DE 19" NO	u	3	114,00	342,00
		CORREDIZA (6 PUERTOS SC)				
3	MATERIALES	PATCHCORD DE FIBRA MONOMODO SC/SC	u	11	17,68	194,48
4	MATERIALES	FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 12 HILOS QUE CUMPLA CON LA RECOMENDACIÓN G.652.D, TIPO: ADSS O EN SU DEFECTO CUALQUIER TIPO DE FIBRA MONOMODO.	u	12000	1,68	20.160,00

2 EQUIPOS ACTIVOS

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	P. UNIT. US \$	P. TOTAL US \$
		TRANSCEIVER DE FIBRA A COBRE DE 10/100 MBPS		11	89,00	979,00

TOTAL GENERAL	21.895,48
---------------	-----------

NOTAS

- * ESTE PRECIO NO INCLUYE IVA.
- * TIEMPO DE ENTREGA 2 DIAS HABILES
- * FORMA DE PAGO: 70% COMO ANTICIPO, Y EL SALDO CONTRA ENTREGA.
- * GARANTIA DE PRODUCTOS 15 AÑOS CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION (elementos Pasivos)

Cualquier inquietud al respecto no dude en comunicarse con nosotros

Atentamente:

Alfredo Orozco
COORDINADOR DE PROYECTOS

[illegible]

3 E SYSTEM

3 E SYSTEM EDISON EGAS

INSTALACION DE SISTEMAS ELECTRICOS

Santa Marta, García Moreno E2-71 y Sucre - Pomasqui

Quito Ecuador, Telfs: 2380-827

E-mail: tresesystedison@hotmail.com

PROFORMA

Número: 661

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS

RUC : 1791362845001

DIRECCION: Av. de Los Granados E12- 41 y

TELEFONO : 23981000

FECHA: 14-NOV-2014

CANT.	DESCRIPCION	P.UNIT	P.TOTAL
12,000	MTS. FIBRA OPTICA SM. DE 12 H G.652 D ADSS	2.10	25,200.00
11	CONVERT/ DE MEDIO 100TX A 100FX SM. SC 20KM.	95.00	1,045.00
11	PATCHCORD DE FIBRA SM SC/SC G.652 2MTS.	50.00	550.00
3	ODF 6 PUERTOS SC SM.	258.20	774.60
1	ODF DE 48 PUERTOS SC SM	485.35	485.35

Observaciones:

LOS DOS ULTIMOS ITEMS NO APLICA YA QUE NO TRABAJO CON ESOS EQUIPOS

Son: Treinta y un mil cuatrocientos veintinueve con 54/100	Subtotal:	28,054.95
	Descuento:	---
	Subtotal Iva 0%:	0.00
	Subtotal Iva 12%:	3,366.59
	Total USD	31,421.54



Soluciones para Redes de Datos, Cableado Estructurado,
Radiocomunicación, Telecomunicaciones, Seguridad Industrial

Dirección: Ulpiano Paéz N23-42 y Veintimilla Telefax.: 2231-831 • 2566-276 • 2503-836 Cel.: 095 250-896
Email: ingerfire.ventas@gmail.com / oalbuja76@hotmail.com Quito - Ecuador

COTIZACION No. 367

CLIENTE: UDLA
RUC:
DIRECCIÓN: SEDE COLON
TELEFONO: 0,998637538
ATENCIÓN: Ing. Santiago Criollo

FECHA: 08-nov-14
FORMA DE PAGO: CONTADO

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	TOTAL
	2000	CABLE OPTICO ADSS SM G652-D 12 HILOS	1,48	2960,00
	11	MEDIA CONVERTERS FIBRA OPTICA SM 10/100	43,75	481,25
	11	PATCH CORD DE FIBRA OPTICA SM G652-D	23,63	259,93
	3	ODF DIO-B48 CONFIGURADO PARA 6 HILOS SM SC INCLUYE ACCESORIOS DE FUSION	156,66	469,98
	3	PIGTAIL SC SM G-652D DUPLEX	18,50	55,50
	1	ODF DIO-B48 CONFIGURADO PARA 48 HILOS SM LC INCLUYE ACCESORIOS DE FUSION	216,40	216,40
	24	PIGTAIL SC SM G-652D DUPLEX	18,50	444,00
				0,00
				0,00
SUBTOTAL				\$ 4.887,06
IVA 12%				\$ 586,45
TOTAL				\$ 5.473,51

NOTA.- LOS PRECIOS Y CANTIDADES ESTAN SUJETOS A VARIACIÓN- SIN PREVIO AVISO

CONDICIONES COMERCIALES:
ENTREGA: INMEDIATO PREVIA VERIFICACION DE ESTOCK

ANEXO C

Se presenta precios referenciales de equipos y antenas para instalación de red inalámbrica de *backup* del diseño propuesto. Estos precios fueron consultados a las empresas TEVIASA, ISEYCO, las cuales proveen este tipo de material y servicios.

Radio HP 802.11n MSM466



Características:

- **Puertos**
1 puerto RJ-45 10/100/1000 con detección automática.
- **Instalación**
Exterior, plenum; incluye dos clips para montaje en el techo
- **Administración**
SNMP v1, 2c, v3, DHCP, HP RF Manager, Embedded HTML management
- **Estándares Radio**
802.11a/n, a/b/g/n
- **Antena**
Solo antenas externas; seis conectores RP-SMA; 6 antenas externas

- **Seguridad**

Security filter, IP filter, EAP-SIM, EAP-FAST, EAP-TLS, EAP-TTLS, PEAP, RADIUS, AAA, EAP-MD5, PAP, CHAP, MS-CHAPv2, WPA, WPA2, AES, TKIP, TLS, TTLS

- **Modulación**

El estándar posee codificación BPSK, QPSK y QAM, y utiliza OFDM.

- **Garantía**

Para toda la vida, reemplazo anticipado, al siguiente día laborable, soporte telefónico las 24 horas.

Precio: USD 999,00

RADIO PROXIM ORINOCO AP 8100**Características:**

- **Puertos**

1 puerto RJ-45 10/100/1000 con detección automática.

- **Instalación**

Exterior, plenum; incluye dos clips para montaje en el techo

- **Administración**

Telnet y SSH, Web GUI and SSL, TFTP, SNMP v1, v2c and v3

- **Estándares Radio**

802.11a/n, a/b/g/n

- **Modulación**

El estándar posee codificación BPSK, QPSK y QAM, y utiliza OFDM.

- **Seguridad**

Encriptación: WEP, TKIP and AES, Based on 802.11i standard

Autenticación: Internal MAC Address Control List, Pre-Shared Key and 802.1x (Radius based)

- **Garantía**

1 Año en partes y piezas, soporte extendido 24/7

Precio: USD 1300,00

Antena tipo Grilla NETKROM



CARACTERÍSTICAS	ANTENA TIPO GRILLA
Ganancia Frecuencia: Ancho del Haz (beamwidth): Polarización	25dBi 5725 – 5850 MHz 6 grados Vertical y horizontal.
PRECIO \$	75,00

ANTENA DE GRILLA HYPERLINK



CARACTERÍSTICAS	ANTENA TIPO GRILLA
Ganancia Frecuencia: Ancho del Haz (beamwidth): Polarización	22 dBi 5725 – 5850 MHz 10 grados Vertical y horizontal.
PRECIO \$	85,00

ANEXO D



Fecha:	Quito, 11 de noviembre de 2014
Cotización No.:	
Cliente:	Universidad de las Américas
Atención:	Ing. Santiago Criollo C
Teléfono:	0998637538
E-Mail:	-

Dir: La Tierra N 380 y Av. Los Shyris Telf.: (593-2) 3731 700 Ext.: 24094

SOLUCIÓN PROPUESTA

COMPARTICIÓN	DIRECCION LOCALIDAD A	DIRECCION LOCALIDAD B	PROVINCIA	TIPO DE ENLACE	INTERFAZ	ANCHO DE BANDA	INSCRIPCIÓN E INSTALACION	RENTA MENSUAL SERVICIO (USD)
1:1	QUITO Colón	QUITO Av. Granados	PICHINCHA	DATOS		800 Mbps	S/. 450,00	S/. 1.973,00
1:1	QUITO Colón	QUITO Av. Colon	PICHINCHA	DATOS		1 Gbps	S/. 1.000,00	S/. 15.541,00
SUB-TOTAL							S/. 1.450,00	S/. 17.514,00
IMPUESTOS: 12% IVA							S/. 174,00	S/. 2.101,68
TOTAL:							S/. 1.624,00	S/. 19.615,68

El costo aproximado de un enlace de fibra óptica depende mucho de la distancia y la capacidad requerida, se tienen referencias de dos empresas proveedoras de este servicio las cuales son: Sonda del Ecuador y La Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

En las siguientes tablas se realiza una aproximación a los valores establecidos en estas empresas para el costo mensual del enlace.

ENLACE GRANADOS – COLÓN			
Tipo enlace	Distancia (m)	Capacidad (Mbps)	Precio mensual (USD)
Fibra óptica	6000	40	935,00
H-03 equipo renta	X	X	60,00
TOTAL			995,00

Costo mensual enlace Granados – Colón

ENLACE GRANADOS – QUERY			
Tipo enlace	Distancia (m)	Capacidad (Mbps)	Precio mensual (USD)
Fibra óptica	0,4	2048	15.541,00
H-03 equipo renta	X	X	60,00
TOTAL			15.601,00

Costo mensual enlace Granados – Query

▪ INTERNET

[A] Tipos de fibra óptica

http://www.uazuay.edu.ec/estudios/sistemas/teleproceso/apuntes_1/optica.htm

[B] La fibra óptica

http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica

[C] Tipos de fibra óptica monomodo (G.652.D), optimización de fibras.

<http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/fibra-optica-para-redes-de-nueva-generacion-ngn/>

[D] Fundamentos de las Fibras Ópticas

<http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/http://pablotheone.wordpress.com/2012/11/05/medios-de-transmision-guiados/>

[E] Cables ópticas de estructura delgada y ajustada

<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra>

[F] Atenuación en la fibra óptica

<http://www.yio.com.ar/fo/atenuacion.html>

[G] Dispersión en la fibra óptica

http://nemesiis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_5_1.htm

[H] Dispersión cromática en la fibra óptica

<http://lafibraoptica-peru.com/la-dispersion-cromatica-en-la-fibra-optica/>

[I] Cable OPWG

<http://www.energiiaeolica.gub.uy/uploads/leasing%20operativo/21K44875C10A.pdf>

[J] Cables de fibra óptica outdoor-subterráneos

<http://www.thefoa.org/ESP/Cable.htm>

[K] Cables figura 8, ADSS

<http://protelbol.com/Descargas/catalogos/Fibra-optica/Cable-optico-Dielctrico-ADSS.pdf>

[L] Sistema de fibra óptica y elementos

<http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

[M] La fibra óptica, Elementos, tipos, características de transmisión y atenuación, Ing. Oscar M. Santa Cruz.

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PIantelExterior/IntrodutorioResumen%20FO.pdf>

Cálculo de enlace de la fibra óptica.

<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/calculo-enlace>

[N] Fuentes ópticas

<https://www.jasp.net/optics/fuentes.xhtml>

<http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/optral/cap2/fibra-8.htm>

[O] Modulación directa y externa

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/jimenez_p_jl/capitulo4.pdf

[P] Tipos de multiplexación de sistemas ópticos

<http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/emisoresreceptores>

<http://www.gordostuff.com/2011/11/digital-multiplexing-time-division.html>

<http://www.euskalnet.net/apetxebari/modem.htm>

<http://slideplayer.es/slide/1477829/>

[Q] Multiplexación CWDM, DWDM

http://centrodeartigo.com/articulos-utiles/article_110563.html

[R] Tutorial de Radio Mobile, Grupo de Radiocomunicación (2007)

<http://www3.fi.mdp.edu.ar/electronica/catedras/mediosdetransmision/files/ManualRadioMobile.pdf>

[S] Misión y visión de la Universidad de las Américas

<http://www.udla.edu.ec/la-udla/acerca-de-nosotros/>

▪ NORMAS – ESTÁNDARES - ORDENANZAS

[T] Sector de normalización de las telecomunicaciones (UIT-T). (2010). *Norma G.652, Características de un cable de fibra óptica monomodo*. Ginebra.

[U] Consejo Metropolitano de Quito. (2011). *Ordenanza 022, Licencia Metropolitana para el uso y aprovechamiento del espacio público para la instalación de redes de servicio*. Quito.

[V] Sector de normalización de las telecomunicaciones (UIT-T). (2003). *Norma G.959.1 Interfaces de capa física de la red óptica de transporte*. Ginebra.

▪ FOLLETOS

- [W] Jiménez, María Soledad. (2012). *Características de la fibra óptica*. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- [X] Jiménez, María Soledad. (2012). *Cables de fibra óptica*. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- [Y] Jiménez, María Soledad. (2012). *Transmisores ópticos*. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.
- [Z] Bernal, Iván. (2010). *Visión general de tecnologías inalámbricas*. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

▪ LIBROS

- [AA] Bellán, Daniel. Ramos José, Capmany Francoy. (2006). *Sistemas de comunicaciones ópticas*. Valencia-España: Ediciones universales.
- [BB] Mahlke, Gunter. Gossing, Peter. (1987). *Conductores de fibra óptica: Conceptos básicos, planificación de instalaciones*. Barcelona: Grafesa.
- [CC] Capmany, José. Ortega, Beatriz. (2009). *Redes ópticas*. México: limusa.

▪ PROYECTOS DE TITULACIÓN

- [DD] Charro, francisco. Erazo, Paulina. (2006). *Estudio y diseño de una red LAN híbrida, utilizando las tecnologías WIMAX y WIFI, para brindar servicios de vídeo sobre IP e Internet de banda ancha incluyendo transmisión de voz y datos, en la Universidad Central del Ecuador*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [EE] Ayala, Yolanda. (2011). *Diseño y simulación de una red de acceso EPON (Ethernet Passive Optical Network) para servicios triple-play (vídeo, datos y voz) para el sector de "La Mariscal"*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [FF] Aguas, Luis. Ortega, Hernán. (2001). *Plan piloto para interconectar cinco universidades del Distrito Metropolitano de Quito mediante el diseño de una red ATM utilizando como última milla tecnología ADSL*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

- [GG] Palacios, Quetty. (2001). *Diseño de una red de telecomunicaciones para Petroproducción-Distrito Quito con fibra óptica*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [HH] Román, Roberto. (2010). *Diseño de la ampliación de la red de comunicación de Emelnorte utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [II] Criollo, Santiago. (2010). *Diseño de una red para las comunicaciones inalámbricas de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q) utilizando tecnología WIMAX*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [JJ] Herrera, Myriam. Hidalgo, Wendy. (2004). *Ingeniería de detalle para el diseño de una intranet con conexión a Internet para aplicaciones de voz, datos y vídeo utilizando la arquitectura TCP/IP*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- [KK] Venegas, Betty. (2014). *Estudio técnico - económico sobre el impacto de las redes de telecomunicaciones y propuesta de normativa para el despliegue de redes aéreas en el Distrito Metropolitano de Quito*. (Proyecto de titulación de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador.
- [LL] Echeverría, Bibiana. (2000). *Estudio y diseño de una red de videoconferencia sobre protocolo Frame Relay empleando tecnología satelital*. (Proyecto de titulación de Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

FUENTE DE FIGURAS

- [1] <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>
http://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.ht
- [2] Jiménez, María Soledad. (2012). La fibra óptica. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador
- [3] <http://optieduca.wordpress.com/la-teoria/>
- [4] <http://ropalmaromera.wordpress.com/funcionamiento-de-las-fibras-opticas/>
- [5] <http://lgpstecnoredes.blogspot.com/p/fibras-opticas.html>
- [6] http://ramcir_cjm.tripod.com/Mvg3.htm<http://www.televes.com/es/cat/faqs/ynotas/general?page=7>
- [7] http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody_en/p1-1_2_3.htm

- [8] <http://www.fibraoptica hoy.com/que-cable-de-fibra-optica-es-el-optimo-para-mi-instalacion/>
- [9] <http://www.caledonian-cables.co.uk/Fiber%20Cable/New%20Fiber%20Cables/OPGW.html>
- [10] <http://www.chinaopticcable.com/products/Special-cable/ADSS.html>
- [11] <http://www.fibraoptica hoy.com/cable-de-fibra-optica-auto-soportado-figura-8/>
- [12] http://www.humbrall.com/imgs/instalaciones/inst_19G.jpg
- [13] <http://herrajesandina.com/tienda/grapas-y-conectores/grapa-de-suspension-suspension-clamp/>
- [14] <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/emisores-receptores>
- [15] <http://www.gordostuff.com/2011/11/digital-multiplexing-time-division.html>
- [16] <http://www.euskalnet.net/apetxebari/modem.htm>
- [17] <http://slideplayer.es/slide/1477829/>
- [18] <http://www.codejobs.biz/es/blog/2013/09/04/nivel-de-una-senal-telecomunicaciones#sthash.LBil9PW4.dpbs>